

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

ARON JONATÃ FUNKE

**ANÁLISE EROSIVO-DEPOSICIONAL DE LEITO DO RIO POTIRIBU A
MONTANTE DA BARRAGEM ANDORINHAS, BOZANO E IJUÍ - RS**

PORTO ALEGRE

2018

ARON JONATÃ FUNKE

**ANÁLISE EROSIVO-DEPOSICIONAL DE LEITO DO RIO POTIRIBU A
MONTANTE DA BARRAGEM ANDORINHAS, BOZANO E IJUÍ - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Profa. Dra. Nilza Maria dos Reis Castro
Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.

PORTO ALEGRE

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Funke, Aron Jonatã

Análise erosivo-deposicional de leito do rio Potiribu a montante da barragem Andorinhas, Bozano e Ijuí, RS. / Aron Jonatã Funke. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.
[87 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientadores: Nilza Maria dos Reis Castro
Elírio Ernestino Toldo Jr.

1. Hidrossedimentologia. 2. Hidrologia. 3. HEC-RAS. 4. Modelos de assoreamento/erosão de leitos. I. Título.

CDU 551.3.053

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Sônia Teresinha Duarte de Oliveira CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **ANÁLISE EROSIVO-DEPOSICIONAL DE LEITO DO RIO POTIRIBU A MONTANTE DA BARRAGEM ANDORINHAS, IJUÍ E BOZANO – RS**, elaborado por ARON JONATÃ FUNKE, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa

Dr. José Luiz F. Machado

Prof. Dr. Ricardo Baitelli

A Marilene, Bruno e Dalira (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por essa maravilhosa experiência que chamamos de vida.

Agradeço a minha família, em especial a Marilene Funke, por todo o apoio que a melhor mãe do mundo pode oferecer e me ofereceu durante toda a minha vida; e também a Aline, minha companheira e amiga, pelo apoio, incentivo, carinho, brigas, birras, paciência e amor.

Um agradecimento especial aos meus orientadores, Prof. Elírio e Profa. Nilza, que me deram apoio durante a fase do Projeto Temático.

Agradeço a UFRGS por disponibilizar a estrutura física, corpo docente e técnico, assim oferecendo educação de excelência, no meu caso desde a formação técnica. Também agradeço ao IPH pela oportunidade de utilizar o Laboratório de Sedimentos do IPH/UFRGS, que além de ter sido minha segunda casa desde 2013, foi palco das análises realizadas para o meu Projeto Temático e parte do financiamento do Projeto.

Agradeço ao projeto Avaliação do Aporte de Sedimentos em Reservatórios Visando Aumento da Disponibilidade Hídrica (SEDIRESERV) chamada pública MCTI/FINEP CT-HIDRO 01/2013 convênio 01.14.0148.00, que possibilitou a realização dessa pesquisa (dados e análises laboratoriais), assim como às instituições e empresas que contribuíram com apoio financeiro parcial para realização da pesquisa relacionada ao presente Projeto, sendo elas a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/Brasil), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP/Brasil), a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS/Brasil), Furnas Centrais Elétricas S.A. e a Fundação de Apoio Universitário (FAU/UFPel). Também agradeço ao Prof. Éder Teixeira, coordenador geral do Projeto SEDIRESERV, por me disponibilizar tamanha riqueza de dados de monitoramento hidrológico.

Agradeço especialmente a Profa. Nilza, minha orientadora, coordenadora, chefe e amiga, por todos esses anos de boa convivência, desde quando me adotou

na bolsa de graduação, passando por me adotar de novo para desempenhar minhas atividades como técnico no Laboratório de Sedimentos e por fim, mais uma vez, me adotando como orientado no Projeto Temático.

Agradeço também a todos os colegas envolvidos no meu Projeto Temático: aos técnicos Anderson, Ivanir e Fernando pelo apoio nas saídas de campo, Leonardo e Rudimar pela ajuda com as análises granulométricas, e os motoristas, Anselmo e Cássio, pelas viagens e parceria nas campanhas Pejuçara a fora. Agradeço aos professores Alfonso Risso e Fernando Fan pelo apoio durante o processamento dos dados nos SIG's e programas para modelagem hidrossedimentológicas. Agradeço muito aos colegas técnicos Pedro Medeiros e César Alves, que foram os que mais me ajudaram e aturaram durante a minha "estadia" na sala de Geoprocessamento. Agradeço a Luciane, que ajudou a apaziguar o ambiente do Sedimentos no segundo semestre de 2018. Também agradeço ao colega de trabalho Bruno Rocha, que fez parte desde o início da minha carreira profissional e muito me ajudou com ensinamentos, tanto da profissão como também éticos, de caráter e postura perante a vida.

“Do rio que tudo arrasta, diz-se que é violento. Ninguém diz violentas, porém, as margens que o prendem. ”

Bertold Brecht

RESUMO

A área caracterizada neste projeto trata-se do reservatório da Central Geradora Hidroelétrica (CGH) Andorinhas, localizada no município de Bozano – RS. Essa CGH foi inaugurada no ano de 1937 e desde então gera em média 0,42MWh. Para caracterizar a variação do leito, determinar se esse relevo tende a mudar de forma a assorear ou erodir, predominantemente, o presente Projeto teve como embasamento técnicas de campo e programas de modelamento hidrossedimentológico para gerar os resultados. Foram utilizados dados já disponíveis de satélite (SRTM 30m), dados de monitoramento hidrológico e levantamento batimétrico, assim como foram realizados levantamentos topográficos para gerar um modelo digital de elevação em sistemas de informação geográficas (SIG) e também foram realizadas coletas de sedimentos de leito ao longo do trecho estudado. Com esses dados e utilizando o programa HEC-GeoRAS e HEC-RAS, foi possível gerar modelos de assoreamento/erosão de leitos de corpos d'água e determinar em variadas seções o comportamento hidrossedimentológico do leito ao longo do trecho estudado a montante da barragem, desta forma constatando nos modelos a presença de assoreamento em alguns trechos.

Palavras-Chaves: Sedimento; Hidrologia; Hidrossedimentologia; Modelo; HEC-RAS.

ABSTRACT

The area characterized in this project is the reservoir of the Fall Power Plant Andorinhas, located in the county of Bozano - RS. This plant was inaugurated in the year 1937 and has since generated an average of 0.42MWh. In order to characterize the bed dynamics, to determine if this relief tends to change form to silting or eroding, predominantly, the present Project was based on field techniques and hydrosedimentological modeling programs to generate the results. Already available satellite data (SRTM 30m), hydrological monitoring data and bathymetric surveys, as well as topographic surveys were used to generate a digital elevation model in geographic information systems (GIS), and samples of bed sediments were collected along the studied section. With these data and using the HEC-GeoRAS and HEC-RAS program, it was possible to generate sedimentation / erosion models of water bodies beds and to determine in several sections the hydrosedimentological behavior of the bed along the stretch studied upstream of the dam, of this form verifying in the models the presence of silting in some stretches.

LISTA DE SIGLAS

Ab: Altura do bastão;

ADCP: *Acoustic Doppler Current Profiler* – Perfilador acústico de correntes por efeito doppler;

Al: Altura do Equipamento;

AH: Ângulo horizontal;

ANEEL: Agência Nacional de

AV: Ângulo vertical;

BDGEx: Banco de Dados Geográfico do Exército Brasileiro;

CGH: Central Geradora Hidrelétrica;

DGPS: *Differential Global Positioning System* – Sistema de posicionamento global diferencial;

DH: Distância horizontal;

DI: Distância inclinada;

DV: Distância vertical;

GPS: *Global Positioning System* – Sistema de posicionamento global;

HEC-RAS: *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*;

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

LABGEO: Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia;

NA: *Nível d'água*;

PMRS: Planalto Meridional do Rio Grande do Sul;

PNRH: Plano Nacional de Recursos Hídricos;

RGB: *Red, Green and blue* – vermelho, verde e azul;

RN: Referencial de nível;

RTK: *Real Time Kinematic* - Posicionamento Cinemático em Tempo-Real;

SEDIRESERV: Avaliação do Aporte de Sedimentos em Reservatórios Visando Aumento da Disponibilidade Hídrica;

SIG: Sistema de informações geográficas;

SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission* - Missão Topográfica Radar Shuttle;

SIRGAS 2000: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000;

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

UTM: Universal Transversa de Mercator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bacia hidrográfica.	22
Figura 2. Estação total (à esquerda) e tripé (à direita).....	29
Figura 3. Estrutura de linígrafo.	32
Figura 4. Aquisição de dados.	32
Figura 5. Curva chave do Posto Fluviométrico Andorinhas	33
Figura 6. Coleta de sedimentos de leito com amostrador Rock-Island.....	35
Figura 7. Medida de vante com estação total.	36
Figura 8. Amostra secando em estufa a 60°C.	38
Figura 9. Amostra seca e conjunto de almofariz e pistilo.....	39
Figura 10. Quarteador (esquerda), amostra total (bandeja), amostra quarteada (becker) e planilha de análise (direita).	39
Figura 11. Agitador automático e conjunto de peneiras.....	40
Figura 12. Balança com duas casas decimais utilizada para pesar as amostras e alíquotas de amostras durante a análise granulométrica por peneiramento.	41
Figura 13. Imagem SRTM s29_w054_1arc_v3.tif focada na área de estudo.	43
Figura 14. Imagem SRTM da área em estudo após o recorte (rosa forte baixas elevações e cinza para grandes elevações).....	43
Figura 15. Pontos extraídos da imagem SRTM (sem a área da batimetria) que serviram de base para gerar o MDE.	44
Figura 16. Áreas escolhidas para atribuir as diferenças de altitude.....	44
Figura 17. Malha de pontos utilizada para gerar o MDE.....	46
Figura 18. MDE gerado a partir dos <i>shapes</i> de pontos SRTM e batimetria 2015 (rosa forte baixas elevações e cinza para grandes elevações).	46
Figura 19. <i>Layout</i> do <i>software</i> HEC-GeoRAS no ArcMAP.....	47

Figura 20. <i>Shapes</i> das linhas que foram geradas a partir do MDE.	47
Figura 21. Geometrias no programa HEC-RAS.....	48
Figura 22. Área do HEC-RAS utilizada para preencher dados de fluxo variável.	49
Figura 23. Janela para inserção de dados hidrossedimentológicos.	50
Figura 24. Janela para adição de dados de fluxo de sedimentos.	51
Figura 25. Perfil Longitudinal de variação da elevação gerada pelo modelo do programa HEC-RAS do trecho estudado do rio Potiribu.	55
Figura 26. Perfil Longitudinal de variação da elevação gerada pelo modelo do programa HEC-RAS do trecho estudado do rio Potiribu com algoritmos alternativos.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas granulométricas de acordo com a Escala de Wentworth em milímetros e polegadas.	27
Tabela 2. Coordenadas UTM do Levantamento Topográfico para aquisição da diferença de nível do NA da Barragem Andorinhas para o Na do Posto Fluviométrico Andorinhas.	37
Tabela 3. Aberturas em milímetro das peneiras utilizadas.	42
Tabela 4. Coeficiente de rugosidade para coberturas diversas de bacias hidrográficas.	48
Tabela 5. Coeficiente de rugosidade para escoamento em rio e reservatórios.	48
Tabela 6. Resultado das análises granulométricas dos pontos coletados no trecho em estudo do rio Potiribu.	52

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A. Mapa da Bacia do Potiribu.....	63
Apêndice B. Batimetria e Granulometria de Leito do Reservatório da Usina Andorinhas	64
Apêndice C. Modelo Digital de Elevação do Rio PotiribuTabela 5. Coeficiente de rugosidade para escoamento em rio e reservatórios.	65
Apêndice D. Seções Transversais HEC-RAS.....	66
Apêndice E. Dados de entrada para o modelo no programa HEC-RAS.....	67
Apêndice F. Seções transversais de montante (Posto Fluviométrico) a jusante (Barragem Andorinhas Jusante) com as variações do depósito de leito de acordo com a batimetria de 2015 (azul) e modelo de depósito de leito gerado pelo HEC-RAS (laranja).....	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. LOCALIZAÇÃO	18
1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E HIPÓTESE	19
1.3. OBJETIVO.....	20
1.4. JUSTIFICATIVA.....	20
2. ESTADO DA ARTE	22
2.1. HIDROLOGIA E HIDROSSEDIMENTOLOGIA.....	22
2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO EM ESTUDO	25
2.3. CONCEITOS DE GRANULOMETRIA	27
2.4. CONCEITOS DE TOPOGRAFIA.....	28
2.5. CONCEITOS DE BATIMETRIA.....	29
2.6. CONCEITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	30
2.7. FERRAMENTAS HEC	30
2.6.1. HEC-RAS	30
2.6.2. HEC-GeoRAS	30
3. METODOLOGIA	31
3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS DE SIG E MONITORAMENTO HIDROLÓGICO	31
3.3. AQUISIÇÃO DE DADOS DE CAMPO	33
3.3.1. Batimetria	33
3.3.2. Amostragens de leito	34
3.3.3. Transporte de Coordenadas	35
3.4. ANÁLISES DE LABORATÓRIO	38
3.5. PROCESSAMENTO DE DADOS	42
3.5.1. Batimetrias	42
3.5.2. ArcGIS e HEC-GeoRAS	42
3.6. PROCESSAMENTO DE DADOS NO HEC-RAS	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1. GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS DE LEITO.....	52
4.2. ANÁLISE EROSIVO-DEPOSICIONAL DO TRECHO DE RIO ESTUDADO.....	54

6. CONCLUSÕES	56
7. RECOMENDAÇÕES.....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICES	62

1. INTRODUÇÃO

O rio Potiribu está inserido na região geomorfológica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, que consiste de áreas com solo residual de rochas vulcânicas básicas composto de coxilhas com declividades entre 3 e 15% e matas de galeria próximas as drenagens. Os solos predominantes são os latossolos vermelhos (71,49% da área da bacia), caracterizados por grande profundidade e quantidade de argila. A alta atividade dos argilominerais presentes nesse solo formam estruturas de micro agregados, que confere ao solo bom armazenamento de água (característica da argila), e alta taxa de infiltração, sendo conhecidos como falsas areias. A profundidade desse solo pode atingir até mais de uma dezena de metros, caracterizando-se por boa drenagem. Essa característica torna esses solos bons para a agricultura, tanto para culturas de inverno como de verão; desde que corrigida a fertilidade química (CASTRO, 1996).

O rio Potiribu é um rio de 4ª ordem, de acordo com o sistema proposto por Strahler, 1952. A drenagem tem baixo grau de integração, densidade média a baixa, grau de controle estrutural alto, sinuosidade curva, alta angulosidade e assimetria fraca. Este rio é um contribuinte da margem esquerda do rio Ijuí, um afluente da margem esquerda do rio Uruguai e que junto ao rio Paraná forma a Bacia Platina, sendo essa bacia (e suas sub-bacias, principalmente) importantes mananciais brasileiros. Somando-se o uso do solo e água para a agricultura, para a barragem (geração de energia) e para o abastecimento humano e dessedentação animal, nota-se um uso múltiplo dos recursos hídricos desta região, os quais necessitam de constante monitoramento e controle.

1.1. LOCALIZAÇÃO

Localizada na região Noroeste do Rio Grande do Sul, a bacia hidrográfica do rio Potiribu, a montante da Barragem Andorinhas, é limitada entre as coordenadas 6859210,190900 m a norte e 6828385,454200 m a sul, 221592,879800 m a oeste e 260322,283500 m a leste, UTM SIRGAS 2000, 22S. Tem uma área de 547 km² e fica cerca de 405 km da capital gaúcha, Porto Alegre (Apêndice A).

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E HIPÓTESE

São muitos os projetos que visam o controle do aporte de sedimentos total (carga suspensa e carga de fundo) no país. Porém a maioria destes projetos aborda apenas o monitoramento da carga de sedimentos em suspensão, não considerando os sedimentos transportados por arraste, ou utilizando equações empíricas para sua determinação (como por exemplo as de Colby e Heintze Modificado) devido à grande dificuldade de se coletar partículas de arraste em leitos de rio.

Na região de estudo, foi realizado um convênio com a UFRGS/IPH (projeto SEDIRESERV - Avaliação do Aporte de Sedimentos em Reservatórios Visando Aumento da Disponibilidade Hídrica) que teve por objetivo abordar as questões relacionadas à disponibilidade hídrica em reservatórios de acumulação de água para a geração de energia, a partir da avaliação do efeito de escala no transporte de sedimentos em rios da Bacia do rio Potiribu/RS e de seus efeitos no reservatório da Usina Hidrelétrica de Andorinhas, propondo alternativas e/ou metodologias para a minimização do aporte de sedimentos no reservatório. Para atingir esse objetivo foi realizado o monitoramento da bacia hidrográfica do rio Potiribu, com instalação de equipamentos, coleta de dados hidrossedimentológicos, medições de vazão e coleta de amostras de sedimentos em suspensão e material de leito e levantamentos topobatimétricos. Uma das metas desse projeto é avaliar se está havendo erosão ou depósito a montante da barragem da usina, através dos levantamentos topobatimétricos. Porém, essa análise pode mascarar um cenário onde a carga de fundo (sedimentos grossos) na verdade está sendo depositada em uma área mais específica enquanto as barrancas do rio e outras áreas do leito formadas por argilas estão sendo erodidas, o que pode dar uma falsa resposta ao método quantitativo empregado no estudo.

Nesse aspecto, o presente projeto temático visa utilizar modelos hidrossedimentológicos para determinar o comportamento do leito do rio Potiribu a montante da Barragem Andorinhas, contribuindo assim para o entendimento da evolução erosivo-deposicional do leito desse reservatório.

1.3. OBJETIVO

O estudo teve como objetivo analisar a evolução de leito, mais especificamente as variações erosivo-deposicionais do leito do rio Potiribu, a montante da barragem Andorinhas, auxiliando em estudos posteriores na quantificação, em médio a longo prazo, do assoreamento (ou não) do reservatório da Barragem Andorinhas.

1.4. JUSTIFICATIVA

O Brasil conta com o potencial hidrelétrico em torno de 260GW, porém apenas cerca de 30% desse potencial hidráulico é aproveitado e ainda assim pelo menos 90% da energia elétrica é provida por hidrelétricas. Atualmente o país passa por uma crise nesse setor de geração de energia. É evidente que melhorias em infraestrutura são necessárias para o melhor aproveitamento da disponibilidade hídrica do país, que internacionalmente é considerada uma fonte limpa (ANEEL, 2008).

É muito importante, para otimizar o uso dos recursos naturais, saber como eles funcionam, como se posicionam em relação ao meio onde estão inseridos. Desta forma, o monitoramento hidrológico (quantificação do ciclo hidrológico) de bacias hidrográficas é fundamental para o conhecimento dos processos e a tomada de decisões.

A instalação de uma barragem e formação do reservatório normalmente modificam as condições naturais do curso d'água. Com relação aos sedimentos, a diminuição da velocidade a montante do reservatório tende a aumentar a taxa de deposição de partículas, desta forma promovendo o assoreamento do reservatório caso o mesmo não seja bem projetado (ANEEL, 2008).

Para otimizar as previsões de mudança do leito dos rios o monitoramento hidrológico é de suma importância, assim enriquecendo o conhecimento da região e podendo até prever com antecedência suficiente e assim remediar previamente possíveis sinistros ocasionados pela intervenção antrópica e até mesmo desastres naturais.

Desta forma, este projeto tem como temática principal a caracterização das variações do leito do rio Potiribu de forma qualitativa, ou seja, inspecionar onde ocorrem as mudanças erosivas e deposicionais no leito do rio a montante da barragem. A pesquisa tem como norte utilizar geotecnologias e técnicas de campo e

futuramente estes dados podem servir de embasamento para decisões sobre o uso e ocupação do solo e água desta região.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. HIDROLOGIA E HIDROSSEDIMENTOLOGIA

Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra. É uma disciplina consideravelmente ampla e que se divide em diversas subáreas (Tucci, 1993). No entanto, em todas elas a bacia hidrográfica é a sua principal unidade de estudo.

A Bacia Hidrográfica (Figura 1) é uma unidade física, presente na crosta terrestre e na atmosfera, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e também os infiltrados (TUCCI, 1993). São considerados também seus limites físicos as linhas imaginárias que dividem a contribuição (entrada de água) por precipitação de uma bacia para a outra. Esses limites são chamados de divisores de água e normalmente correspondem aos altos topográficos presentes na superfície terrestre.

Figura 1. Bacia hidrográfica.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/bacia-hidrografica.htm>

São características da bacia: a área de drenagem, comprimento dos cursos d'água, coeficiente de compacidade, fator de forma, ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial, sinuosidade,

elevação média, declividade equivalente, curva hipsométrica e retângulo equivalente. E para a caracterização da bacia hidrográfica muitas são as metodologias difundidas. Pode-se fazer uso de técnicas mais rústicas, utilizando cartas topográficas e instrumentos de medição, ou de técnicas mais modernas, com o uso de programas que auxiliam na caracterização da Bacia, através de dados de entrada fornecidos pelo usuário (BRITO, 2015).

De acordo com o Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº9.433/97, a bacia hidrográfica também é a unidade de gestão dos recursos hídricos. Assim sendo, é necessário o monitoramento da mesma para propor ações de gestão e gerenciamento para a mesma.

Os processos hidrológicos afetam diretamente o intemperismo das rochas e a erosão do solo. Esses processos também afetam o transporte e a deposição de sedimentos. Desta forma, esses processos atuam como moldadores da superfície terrestre, alterando a geomorfologia terrestre com grande eficiência, pois alteram significativamente as paisagens do planeta em escala humana, secular.

O ciclo hidrossedimentológico está intimamente vinculado ao ciclo hidrológico, sendo totalmente dependente deste. Trata-se de um ciclo aberto que envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica (BORDAS e SEMMELMANN, 1997).

O sedimento pode ser definido como a partícula derivada da rocha, ou de materiais biológicos, que podem ser transportados por fluido, também descrito como a partícula derivada da fragmentação das rochas, por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição, sendo o material em suspensão na água, em movimento de saltação próximo ao leito ou ainda depositado no leito dos rios, lagos e oceanos. (CARVALHO, 2008).

São seis os principais processos no ciclo hidrossedimentológico, sendo eles: desagregação, separação ou erosão, transporte, decantação ou sedimentação, depósito e consolidação (TUCCI, 1993). Ainda de acordo com Tucci (1993), dos seis processos se destacam dois (erosão e o depósito), se sobressaem pela maior importância de suas consequências e por seu papel chave na redistribuição dos sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica, e com o passar do tempo, os processos

em ação no ciclo hidrossedimentológico acabam por moldar as feições das bacias hidrográficas, principalmente quando a sua intensidade é maior do que os processos vinculados a sua dinâmica interna, dando-lhes as formas hoje conhecidas (BRITO, 2015).

Carvalho (2008) afirma que o comportamento de uma bacia em relação à sedimentação é muito variável, desde as partes mais altas até as planícies. Isso depende das rochas e dos solos, da cobertura vegetal, das declividades, do regime de chuvas, de controle estrutural das rochas, bem como de outros fatores. Geralmente a maior erosão e transporte de sedimentos ocorre nas porções mais altas de uma bacia hidrográfica e vai diminuindo gradativamente até as porções mais baixas da bacia hidrográfica. Logo, na alta bacia, percebe-se maior erosão e transporte de sedimentos, enquanto, na parte baixa da bacia, observa-se, normalmente, menor taxa de erosão, ocorrendo formação de depósitos com forte processo de agradação (MACHADO e VETORAZZI, 2003).

De acordo com Tucci (1993), os deslocamentos dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial e outros processos acabam provocando a perda ou redistribuição pela bacia de consideráveis massas de solo, a ponto de alterar o ciclo hidrológico e afetar o uso, conservação e a gestão da bacia.

Santos et al. (2001) afirmam que o transporte de sedimentos é um processo natural que envolve a remoção, o transporte e deposição de material e faz parte da evolução da paisagem. Entretanto, os problemas derivados de sedimentos aumentam à medida que há maior desenvolvimento e ocupação do espaço.

De acordo com Carvalho (2008), a carga em suspensão é predominantemente maior que a de fundo (90% a 95%) no alto curso, e a carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão na bacia vai diminuindo e a declividade do curso d'água também (65% a 90% de sedimento e suspensão).

Os sedimentos que são transportados pelo rio, quando acumulados nos reservatórios, podem ocasionar problemas, como: redução do volume de água, prejuízos a navegação, danificação de turbinas, bloqueio de tomadas de água e comportas, dentre outras. Qualquer que seja a finalidade (armazenamento de água, geração de energia, etc.) o tamanho e as características de operação dos reservatórios estão sujeitos a ter a capacidade de armazenamento parcial ou

totalmente tomada pelos sedimentos, caracterizando o processo de assoreamento (GARCIA e CONÇALVES, 2011).

2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO EM ESTUDO

O Planalto Meridional do Rio Grande do Sul (PMRS), em termos de geologia, foi gerado por subsidência generalizada, segundo Zalán et al. (1990), ocorrida no início do Paleozóico (~570 Ma, conforme Almeida e Ribeiro, 1998), em decorrência do resfriamento da crosta recém gerada, pela intensa deformação e granitogênese, provocada pelos eventos compressivos e colisionais durante o Ciclo Brasileiro, deu origem à Bacia do Paraná. A forma alongada e distorcida da Bacia do Paraná está relacionada à reativação de estruturas tectônicas do embasamento cristalino que acabou por promover localmente uma maior subsidência nas direções NNE, NE e NW (MELFI et al., 1988).

A Bacia do Paraná encontra-se sobre o embasamento cristalino (Plataforma Sul Americana) na região centro leste da América Latina, tem 1,6 milhões de km² (CPRM, 2006), abrangendo os estados brasileiros do Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (DORNELES, 2015).

Segundo Nummer (2003), durante os períodos Ordoviciano (510 Ma) e Jurássico (205 Ma) ocorreram predominantemente deposições sedimentares gerando várias formações rochosas na Bacia do Paraná.

Na era Mesozóica, entre o final do Período Jurássico e início do Cretáceo (140 Ma), o Brasil foi palco das maiores atividades vulcânicas que se conhecem. Na Bacia do Paraná cerca de 1 milhão de km² foram cobertos por rochas efusivas básicas. Formaram-se derrames sucessivos de lavas, que em certos lugares podem atingir pacotes com centenas de metros de espessura. O volume total de lavas basálticas da Bacia do Paraná atinge o total de 650.000km³. Além da formação das rochas efusivas, a lava basáltica formou numerosas intrusões hipabissais ou quase superficiais, que hoje afloram à superfície sob a forma de sills e diques de diabásio. Esta atividade magmática não se assemelha ao vulcanismo atual, pois a expulsão desta quantidade gigantesca de magma deve ter ocorrido através de fendas de grande profundidade, denominadas geóclases (LENZ e AMARAL, 1980).

A bacia hidrográfica do rio Potiribu, inserida no contexto da PMRS, apresenta solos desenvolvidos a partir das rochas eruptivas basálticas. Essa área é composta principalmente por coxilhas com declividades entre 3 e 15% e matas de galeria próximas as drenagens. A textura do solo caracterizada como argilosa, sendo constituídos por 70% de argila, 18% de silte, 7% de areia fina e 5% de areia grossa (BRASIL, 1973). Carvalho et al. (1990) identificaram seis unidades de mapeamento no levantamento de solos da região, das quais predominam, conforme classificação atualizada EMBRAPA (2006): Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe), Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf), Nitossolo Vermelho Eutroférrico (NVef) e Gleissolo Háptico (GX). Os solos predominantes na bacia são os Latossolos vermelhos, caracterizados por grande profundidade e quantidade de argila (SARI et al., 2017).

A alta atividade dos argilominerais presentes nesse solo formam estruturas de micro agregados, que confere ao solo bom armazenamento de água (característica da argila), e alta taxa de infiltração, sendo conhecidos como falsas areias. A profundidade desse solo pode atingir até mais de uma dezena de metros, caracterizando-se por boa drenagem. Essa característica torna esses solos bons para a agricultura, tanto para culturas de inverno como de verão; desde que corrigida a fertilidade química (CASTRO, 1996). Desta forma, essa região apresenta 88,47% de sua área ocupada por agricultura extensiva, com predomínio da prática de cultivo “plantio direto”. A soja e o milho configuram os cultivos mais comuns no período do verão, e o trigo e a aveia no inverno. Também são encontradas áreas de vegetação nativa (Mata Atlântica) ou em estágio avançado de regeneração, principalmente na forma de fragmentos de mata ciliar e manchas isoladas de diferentes extensões (raramente alcançando 1 km²) (SARI et al., 2017).

Conforme sistema de classificação Koppen-Geiger (PELL et al., 2007), o clima da região é classificado como mesotérmico brando, do tipo temperado, super úmido e sem estação seca (cfa). As precipitações são bem distribuídas no ano, com ausência de um período específico de estiagem, sendo a precipitação média anual em torno de 1730 mm e média mensal de 146 mm para o período de 1989 a 2011 (OLIVEIRA et al., 2017).

2.3. CONCEITOS DE GRANULOMETRIA

Granulometria é o estudo da dimensão de partículas, geralmente partículas de rocha, solos e sedimentos, mas não reservado somente a esse tipo de materiais. É a análise que determina não só as dimensões das partículas, mas sua ocorrência, geralmente em porcentagem de acordo com faixas de tamanho (faixas granulométricas).

As faixas granulométricas são expressas pelo diâmetro da partícula ou pela abertura da malha que o material fica retido ou passa durante a análise. As unidades comumente utilizadas são o milímetro, micrômetro e *MESH*, que é a quantidade de aberturas em uma malha de peneira em uma polegada.

A Escala de Wentworth é um dos referenciais mais utilizados para determinação das faixas granulométricas, sendo recomendada pela USGS, seguindo as normas ASTM (D6913/D6913M—17). Essa escala, logarítmica, visa avaliar os fragmentos de sedimentos clásticos (ou detríticos), dos mais grossos para os mais finos. Criado por C. K. Wentworth (1922) (Tabela 1).

Tabela 1. Faixas granulométricas de acordo com a Escala de Wentworth em milímetros e polegadas.

Dimensões (metros)	Dimensões (aprox. em polegadas)	Nome dos agregados (Escala de Wentworth)
> 256 mm	> 10.1 in	Rocha / Matacão
64–256 mm	2.5–10.1 in	Seixo
32–64 mm	1.26–2.5 in	Cascalho muito grosso
16–32 mm	0.63–1.26 in	Cascalho grosso
8–16 mm	0.31–0.63 in	Cascalho médio
4–8 mm	0.157–0.31 in	Cascalho fino
2–4 mm	0.079–0.157 in	Cascalho muito fino
1–2 mm	0.039–0.079 in	Areia muito grossa
½–1 mm	0.020–0.039 in	Areia grossa
¼–½ mm	0.010–0.020 in	Areia média
125–250 µm	0.0049–0.010 in	Areia fina
62.5–125 µm	0.0025–0.0049 in	Areia muito fina
3.90625–62.5 µm	0.00015–0.0025 in	Silte
< 3.90625 µm	< 0.00015 in	Argila
< 1 µm	< 0.000039 in	Colóide

Fonte: http://www.wikiwand.com/pt/Tamanho_dos_grãos

Existem diversos métodos e análises para determinar a granulometria do material em estudo, entre eles: peneiramento, acumulação visual, pipetagem, tubo de retirada pelo fundo e granulometria a laser.

O método de peneiramento é empregado com o uso de conjuntos de peneiras com malhas de diferentes tamanhos, onde os materiais ficam retidos após agitação das mesmas. A granulometria do material é atribuída conforme a massa seca do material retido em cada peneira em relação a massa seca do material total que foi peneirado.

2.4. CONCEITOS DE TOPOGRAFIA

Topografia são métodos, princípios e convenções utilizados para determinar as superfícies de terrenos sem considerar a curvatura terrestre. Desta forma, existem diversos métodos empregados na medição das características terrestres, sendo as principais finalidades determinar a posição da superfície em três dimensões (CORRÊA, 2007).

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994, p. 3), Norma Brasileira para execução de Levantamento Topográfico, o levantamento topográfico é definido por: “Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhe visando a sua exata representação planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré-determinada e/ou pontos cotados”.

Para realizar trabalhos topográficos a gama de equipamentos utilizados é vasta (teodolitos, estação total, RTK, drones, imagens de satélite), dependendo do tipo e tamanho de terreno a ser mensurado, assim como a disponibilidade de equipamento que a equipe de campo dispõe e quais informações sobre as características do terreno se quer adquirir.

O equipamento de uso mais comum de topógrafos é a estação total, um equipamento capaz de medir ângulos horizontais e verticais, assim como também mede distâncias e a partir destes dados também calcula e fornece distâncias horizontal e vertical a partir de um ponto arbitrário qualquer (Figura 2).

Figura 2. Estação total (à esquerda) e tripé (à direita)



Fonte: agroffice.blogspot.com/2013/04/qual-diferenca-entre-estacao-total-e.html

2.5. CONCEITOS DE BATIMETRIA

A batimetria trata do conjunto dos princípios, métodos e convenções usados para determinar a medida do contorno, da dimensão relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, represas e canais. Os levantamentos batimétricos têm por objetivo efetuar medições de profundidades que estejam associadas a uma posição da embarcação na superfície da água, as quais são necessárias em áreas marítimas, fluviais, canais, lagoas, etc, buscando representar estas áreas em uma carta, e desta forma conhecer o comportamento da morfologia de fundo de um rio, reservatório, canal ou de um oceano. Compreende assim uma abordagem planimétrica (X,Y) que fornece a posição da embarcação onde está a estação, e a obtenção das profundidades. As coordenadas (X,Y) são frequentemente obtidas por *DGPS* (*Diferencial Global Positioning System*), irradiação, interseção à vante (conforme a situação), e as profundidades por sondagem (GAGG, 2016).

As profundidades são necessárias para representação das isóbatas, possibilitando a visualização da topografia submersa e orientação para navegação. As medições da profundidade podem ser feitas de forma direta (uso do prumo de mão, máquina de sondar e estádias) ou indireta (emprego de sensores acústicos como o

ecobatímetro monofeixe ou multifeixe, sensores eletromagnéticos espacial ou aerotransportado) (GAGG, 2016).

2.6. CONCEITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é o nome utilizado na ciência para uma área aplicada que obtém imagens à distância da superfície terrestre. Estas imagens são adquiridas através de instrumentos chamados sensores remotos. Estes sensores são acoplados em aeronaves ou em satélites de sensoriamento remoto. Esses equipamentos geram produtos de sensoriamento remoto denominados de imagens.

Alguns Projetos (como SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle) geraram dados que são notoriamente utilizados para diversas pesquisas. No caso do SRTM há dados de imagens com resolução 90 metros que comumente passam por processos de krigagem, aumentando a resolução para 30m, que contam com a altitude de cada pixel através da escala de cinza, sendo assim importantes dados de base para projetos que visam estudar relevos.

2.7. FERRAMENTAS HEC

2.6.1. HEC-RAS

O HEC-RAS é um *software* desenvolvido pelo Corpo de Engenharia do Exército Norte Americano voltado para a realização de estudos de escoamento em rios e canais. Seu nome foi criado a partir das siglas RAS que significa *River Analysis System* (Sistema de Análise de Rios) e HEC que significa *Hydrologic Engineering Center* (Centro de Engenharia Hidrológica).

2.6.2. HEC-GeoRAS

O *software* HEC-GeoRAS, desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers*, consiste numa extensão para o SIG ArcGIS, e foi desenvolvido para criar e processar informações geo-espaciais para utilização conjunta com o *software* HEC-RAS, possibilitando gerar os dados requeridos para a modelagem hidráulica em canais de drenagem.

Basicamente, esse programa permite gerar a geometria do relevo que será utilizado no programa HEC-RAS ainda estando no programa ArcGIS, facilitando o uso do MDE nesse programa.

3. METODOLOGIA

3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS DE SIG E MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

A primeira atividade exercida dentro do âmbito deste Projeto Temático foi a aquisição de dados de sistemas de informação geográfica, tanto dados de domínio público (imagens do SRTM, RapidEye, Exército Brasileiro, etc.) quanto dados oriundos do Projeto Potiribu, uma iniciativa do IPH para realizar o monitoramento contínuo da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu e suas sub-bacias desde 1990.

Os dados do SRTM do Rio Grande do Sul foram adquiridos a partir do site do INPE (Instituto Nacional . Esses dados foram previamente interpolados pelo INPE de 90m para 30m por krigagem e foram utilizados para gerar o perímetro seco do modelo após recortar a área de interesse a montante da Barragem Andorinhas.

Os dados *RapidEye* foram adquiridos a partir do site Earth Explorer e serviram basicamente para se ter uma melhor ideia da extensão do rio Potiribu a partir da manipulação das bandas RGB (*red, green and blue*).

Os mapas do Exército Brasileiro foram adquiridos a partir do site do BDGEx e serviram basicamente para localização. A Folha utilizada foi a SH.22-V-A-I-3 MI-2915/3 de impressão de 1979, escala 1-50000.

Os *shapefiles* de curvas de nível, hidrografia e rodovias foram adquiridos a partir do site do LABGEO da UFRGS e foram utilizados para interpretação da Bacia Hidrográfica do rio Potiribu.

Ainda relativo a dados de SIG, foram adquiridos através do Projeto Potiribu arquivos *raster* e *shapefiles* da região em estudo.

Além dos dados de SIG, foi necessária a aquisição de diversos dados hidrológicos da área em estudo e que já estavam disponíveis para uso pelo Projeto Potiribu e SEDIRESERV, tais como séries de dados de cota do linígrafo do posto fluviométrico do rio Potiribu / Andorinhas, situado a montante da barragem das Andorinhas e do linígrafo da barragem da CGH Andorinhas.

Os linígrafos, tanto do posto fluviométrico, quanto da usina utilizam o sistema de boia e contrapeso da marca OTT e contam com *dataloggers* para armazenar os dados a serem utilizados (Figuras 3 e 4). Dito isto, o linígrafo do posto fluviométrico adquire uma medida de cota do rio a cada 10 minutos, enquanto os dados disponibilizados do linígrafo da CGH Andorinhas são medidas diárias. Foram então selecionados os dados do linígrafo do posto fluviométrico apenas do mesmo horário diário do linígrafo da usina (17:00), para serem os dados de mesma ordem dos dois extremos da área de estudo inseridos no programa com a mesma representatividade.

Figura 3. Estrutura de linígrafo.



Fonte: Marquis de Oliveira.

Figura 4. Aquisição de dados.



Fonte: Autor.

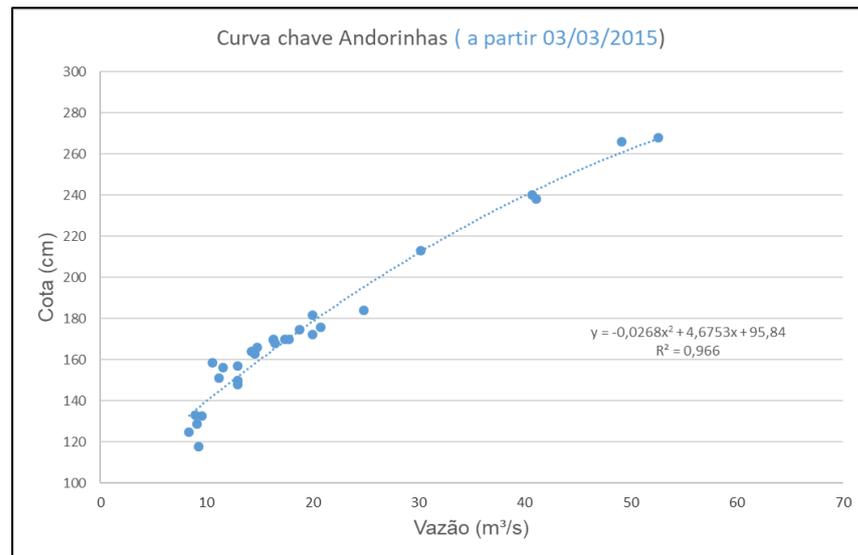
Foram ainda adquiridos do Projeto SEDIRESERV dados de vazão do rio Potiribu a altura do posto fluviométrico Potiribu / Andorinhas. Essas medidas de vazão foram realizadas uma vez ao mês, desde 2015 até o presente momento. As medições são sempre feitas com ADCP M9 da marca Sontek ou com molinete hidrométrico da marca OTT.

Todavia, para o estudo contínuo da bacia hidrográfica são necessários mais dados de vazão, ao mesmo que é inviável manter uma equipe medindo continuamente a vazão na transversal do rio a altura do posto fluviométrico. Desta forma o meio mais utilizado para adquirir medidas de vazão contínua é a curva chave.

A curva chave nada mais é do que um gráfico que representa a vazão do rio no eixo das abcissas enquanto a cota no eixo das ordenadas (Figura 5). Assim pode-se determinar a vazão de um rio a partir de sua cota, que é um dado muito mais fácil de adquirir sem mão de obra humana contínua.

É claro que para ter uma curva chave válida é necessário ter o monitoramento contínuo da seção transversal em análise e ainda ter inúmeras medidas de vazão com diferentes cotas, inclusive medidas de cheias e mínimas cotas, para desta forma prolongar a validade dos dados.

Figura 5. Curva chave do Posto Fluviométrico Andorinhas



Fonte: Projeto SEDIRESERV.

3.3. AQUISIÇÃO DE DADOS DE CAMPO

As campanhas para aquisição de dados de campo ocorreram em dois períodos, entre as datas 25/04/2018 e 02/05/2018 e 15/10/2018 e 19/10/2018. Sendo a primeira campanha para a coleta de amostras de leito e a segunda campanha para o levantamento topográfico com ênfase a determinar a diferença de cota entre a lâmina d'água da na Barragem Andorinhas e na altura do Posto Fluviométrico Potiribu / Andorinhas a montante da barragem.

3.3.1. Batimetria

O levantamento batimétrico foi realizado no âmbito do Projeto SEDIRESERV em 2015, sendo que o autor participou da equipe executora dos trabalhos de campo e do tratamento dos dados.

Os levantamentos batimétricos consistiam em realizar a aquisição dos dados de leito do rio através da utilização de um *ADCP SONTEK M9*, com feixe vertical. Esse

equipamento foi acoplado ao lado de um barco do tipo chata e desta forma foram realizadas algumas navegações com curso e velocidades controladas para a boa aquisição dos dados nos locais desejados. O *ADCP* desta marca não funcionou com o *DGPS* devido a falha no sistema ou falta de licença (a empresa não foi muito clara em relação a esse problema), portanto os dados de posição foram adquiridos apenas com o *GPS*, que resultava em medidas de baixa precisão (principalmente a altitude). Desta forma, foi utilizada apenas a profundidade medida pelo feixe vertical do *ADCP* para gerar o mapa batimétrico que por sua vez foi utilizado para confecção do Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizado no modelo HEC-RAS.

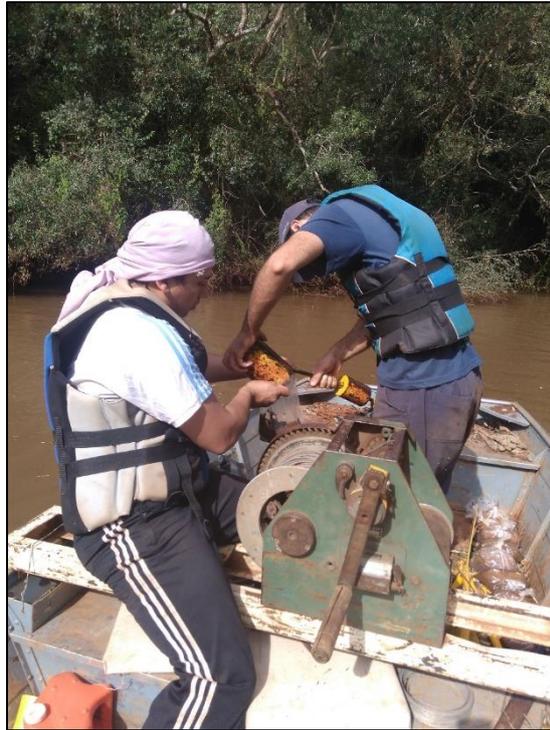
3.3.2. Amostragens de leito

As amostragens de leito foram realizadas a montante da Barragem Andorinhas em um trecho de aproximadamente 1,5 km em 21 seções transversais do rio e em cada transversal sendo feitas amostragens em 3 pontos, sendo eles em 25, 50 e 75% de cada transversal (Apêndice B). No total foram coletadas 52 amostras, pois em 11 verticais o leito era composto de lageado.

Para realizar as amostragens no trecho em estudo do rio Potiribu, foi necessário utilizar barco (tipo chata, pois é mais estável) e motor de 15hp para o transporte. Para as coletas foi utilizado o amostrador tipo Rock-Island (AMF-2), raspador (Figura 6), modificado (caçamba maior para preservar melhor a amostra durante a retirada). De acordo com CARVALHO et al., 2000, esse amostrador é impróprio para as coletas, devido a facilidade de se perder os sedimentos finos ao içar a amostra, todavia o amostrador BMH-60 (primeira alternativa) mostrou-se incapaz de coletar as amostras devido a grande quantidade de areia grossa e cascalho. Ainda assim nota-se que no rio Potiribu, a baixas velocidades ($<0,4\text{m/s}$), com o amostrador Rock-Island modificado, ao içar o amostrador, o mesmo perde menos finos do que amostradores tipo draga de Petersen.

Foram utilizados sacos plásticos para acondicionar as amostras e fita crepe para identificar as amostras.

Figura 6. Coleta de sedimentos de leito com amostrador Rock-Island.



Fonte: Autor.

A localização dos pontos de amostragem já havia sido decidida anteriormente a campanha de campo em *GPS* de navegação e o mesmo serviu para localizar os pontos de amostragem durante o campo.

3.3.3. Transporte de Coordenadas

O transporte de coordenadas serviu para referenciar a barragem em relação ao posto fluviométrico e também para determinar a diferença de nível entre a lâmina d'água na barragem e no posto fluviométrico, determinando assim a declividade do rio nesse trecho e podendo referenciar as cotas arbitrárias do linígrafo do posto fluviométrico e posteriormente podendo analisar as diferenças de altitude dos dois linígrafos.

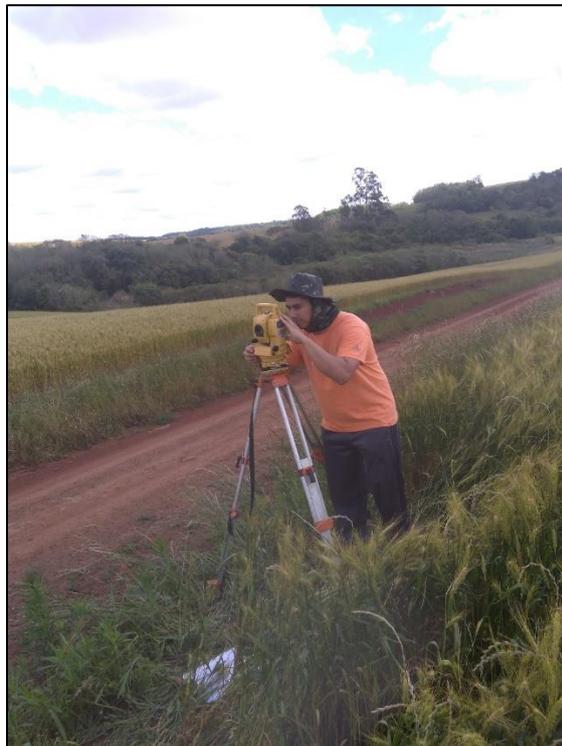
Primeiramente, nas imediações da Barragem Andorinhas, foram localizados os RN's (referenciais de nível) que foram utilizados como base para fazer o transporte. Posteriormente foi utilizada uma estação total para fazer o trabalho de transporte.

Para fazer o transporte, por poligonal aberta, sempre era necessário instalar a estação total em um ponto qualquer que tivesse boa visada dos pontos de ré, vante e irradiações para aquela estação. Primeiramente era cravada uma estaca (ponto de

referência físico temporário) no ponto escolhido, posteriormente instalado o tripé logo acima dessa estaca e depois sim era instalada a estação total. Após instalar a estação total, centralizar na estaca e nivelar, era medida a AI (altura do instrumento, medida da ponta da estaca até a luneta da estação total). Então os ângulos da estação eram zerados na ré (ponto anterior) e depois eram medidas as distâncias deste ponto. Posterior a isso era medido então o ponto a vante (Figura 7) da estação atual, assim determinando distâncias e ângulos.

Posteriormente a estação era retirada do ponto e instalada na vante e era repetido todo o processo anterior nessa estação. Desta forma, foi gerada uma poligonal aberta entre a Barragem Andorinhas e o Posto Fluviométrico Potiribu / Andorinhas, medidas irradiações da lâmina d'água da Barragem Andorinhas e do posto fluviométrico, gerando assim a diferença de cota que era necessária para rodar o programa HEC-RAS.

Figura 7. Medida de vante com estação total.



Fonte: Autor.

Os dados determinados no levantamento (DH, DI, DV, AI, Ab, AV e AH; além das coordenadas dos RN) foram processados, afim de calcular as coordenadas dos pontos levantados (Tabela 2).

Desta forma foi possível determinar que para o dia 16/10/2018 às 17 horas a diferença de cota entre o NA da Barragem Andorinhas e o NA no Posto Fluviométrico Potiribu / Andorinhas é em média 0,79722m. Além disso, o linígrafo do posto fluviométrico também foi referenciado com altitude a partir da lâmina d'água daquele momento transformando a partir deste ponto os outros NA's adquiridos pelo linígrafo em altitudes.

Tabela 2. Coordenadas UTM do Levantamento Topográfico para aquisição da diferença de nível do NA da Barragem Andorinhas para o Na do Posto Fluviométrico Andorinhas.

X	Y	Z	Nome
224577.4008	6855056.662	310.2316	RN 1 (Barragem)
224573.5402	6855056.285	309.3785755	RN 2 (Barragem)
224578.5104	6855034.03	309.4658359	Barragem 01
224638.1851	6854954.454	310.2009974	Barragem 02
224668	6854962	325.1185588	Est. 01
224758.0984	6854861.253	336.6143977	Est. 02
224745.4862	6854814.688	332.3942864	Est. 03
224772.4738	6854844.346	337.3881929	Est. 04
224810.6581	6854857.769	336.545014	Est. 05
224850.9281	6854758.706	344.0942537	Est. 06
224884.3178	6854677.342	351.6972923	Est. 07
224863.5329	6854429.012	352.3923329	Est. 08
224827.4788	6854325.212	348.0316361	Est. 09
224822.7756	6854242.648	340.0706987	Est. 10
224952.8491	6853836.407	343.146366	Est. 11
224919.5616	6853768.429	344.0960194	Est. 12
224606.9226	6853657.6	333.0698525	Est. 13
224576.6548	6853757.439	330.3235113	RN Potiribu
224636.7294	6854954.44	310.0000236	Réguas Usina (Cota: 310m)
224636.7311	6854954.461	309.996092	Réguas Usina (Cota: 310m)
224636.6967	6854954.079	310.0069363	Réguas Usina (Cota: 310m)
224723.2644	6854779.175	328.0994308	RN Linígrafo Barragem
224732.2917	6854776.508	326.8846554	NA Barragem
224734.7197	6854774.841	326.8926797	NA Barragem
224732.572	6854777.565	326.8736303	NA Barragem
224590.2345	6853761.698	327.693109	NA ME Posto
224612.2373	6853772.075	327.6699277	NA MD Posto
224612.0792	6853771.925	327.6796145	NA MD Posto

Fonte: Autor e Pedro Medeiros (Técnico em Hidrologia IPH/UFRGS).

3.4. ANÁLISES DE LABORATÓRIO

As amostras de leito foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS para serem analisadas.

Primeiramente as amostras foram identificadas em planilha e acomodadas em recipientes que pudessem ser levados a estufa (60°C) (Figura 8). Posteriormente as amostras foram identificadas para a análise em planilhas próprias e após seguiu-se o processo de análise.

Figura 8. Amostra secando em estufa a 60°C.



Fonte: Autor.

A análise das amostras depois de secas (Figura 9) foi realizada da seguinte forma: Inicialmente as amostras secas tinham a massa bruta (massa seca total da amostra) adquirida.

Figura 9. Amostra seca e conjunto de almofariz e pistilo.



Fonte: Autor.

Na sequência a amostra era previamente macerada com conjunto de almofariz pistilo assim como retirada manual da matéria orgânica (galhos, folhas, etc) e logo após era realizado o processo de quarteamento no quarteador (Figura 10) até que a amostra ficasse com $100 \pm 3g$ (massa ideal para a análise). Posteriormente a amostra era novamente macerada até todos os agregados serem desfeitos e sem quebrar as partículas de rocha.

Figura 10. Quarteador (esquerda), amostra total (bandeja), amostra quarteada (becker) e planilha de análise (direita).



Fonte: Autor.

A amostra depois de pronta para a análise era pesada novamente (massa inicial) e então era levada para os conjuntos de peneiras.

A cada conjunto a amostra era colocada na peneira superior e então o conjunto era encaixado num agitador de peneiras automático por cinco minutos (Figura 11). Depois de agitados, cada peneira, de cima para baixo (malhas grossas para malhas finas) eram tiradas do conjunto, retiradas destas o que ficou retido de amostra e colocadas em um recipiente numerado, sendo os dados da peneira e do recipiente anotados em planilha.

Figura 11. Agitador automático e conjunto de peneiras.



Fonte: Autor.

Após fazer esse procedimento com todas as peneiras dos conjuntos, as frações de amostras em cada recipiente era pesada (Figura 12). A massa era anotada na planilha e, posterior a isso, era feito o cálculo de cada análise para cada amostra.

Figura 12. Balança com duas casas decimais utilizada para pesar as amostras e alíquotas de amostras durante a análise granulométrica por peneiramento.



Fonte: Autor.

Foram realizadas no total 52 análises granulométricas pelo método de peneiramento, estando as malhas das peneiras utilizadas na tabela abaixo (Tabela 3) e além de calculadas as faixas granulométricas em porcentagem também foram calculados os D50 e D90 de cada amostra (Tabela 6).

Tabela 3. Aberturas em milímetro das peneiras utilizadas.

Abertura em milímetros das peneiras utilizadas				
26.670	9.520	2.830	0.710	0.177
19.100	7.930	2.000	0.500	0.125
15.900	5.660	1.410	0.350	0.090
12.700	4.000	1.000	0.250	0.063

Fonte: Autor.

3.5. PROCESSAMENTO DE DADOS

3.5.1. Batimetrias

Foram utilizados dados da batimetria realizada durante o Projeto SEDIRESERV para gerar os MDE que serviram de base para o presente Projeto.

O ADCP M9 salva cada arquivo normalmente no formato do seu próprio programa, o *River Live*, na extensão .rivr. Porém é possível nesse programa exportar os arquivos no formato .txt, o que foi feito e posteriormente esses dados brutos foram encaminhados para uma planilha excel, sendo então separados os dados de interesse: coordenadas x,y em UTM e a profundidade do leito em cada ponto. Fora isso, foram utilizados dados de velocidade e vazão de alguns trechos do rio para interpretação do modelo posteriormente gerado.

Um grande problema gerado na aquisição da batimetria foi justamente a profundidade. A mesma deveria ser associada a altitude por meio do DGPS (GPS diferencial) do ADCP. Todavia esse instrumento da marca SONTEK não funcionou satisfatoriamente na região em estudo, prejudicando a localização dos pontos e principalmente a altitude do leito do rio. Desta forma foi então adquirida apenas as profundidades entre o ADCP e o leito do rio e essas cotas arbitrárias foram posteriormente referenciadas a altitudes no programa ARCGIS associado a planilhas Excel.

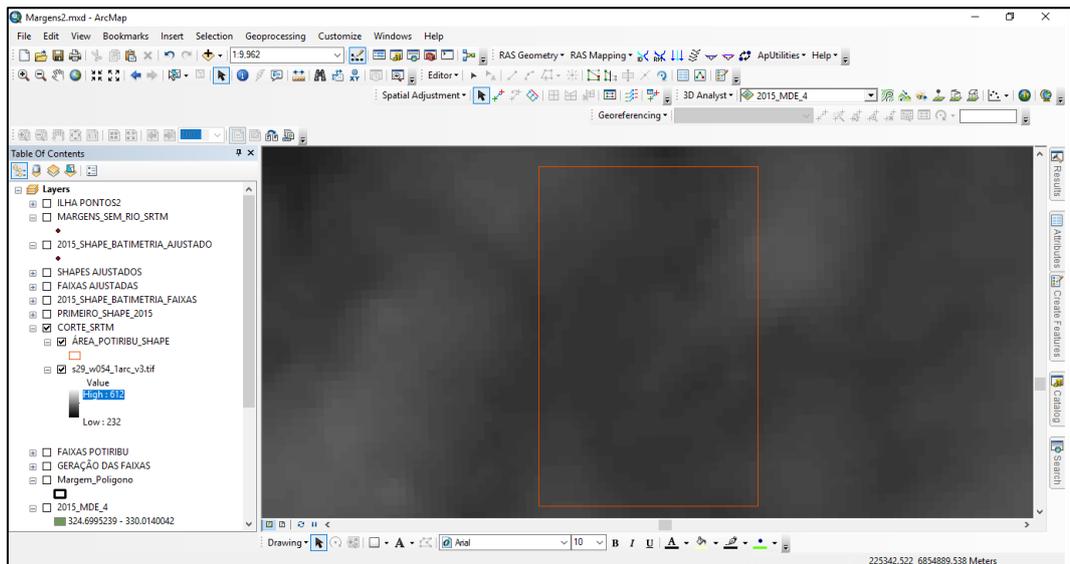
3.5.2. ArcGIS e HEC-GeoRAS

Posteriormente a aquisição dos dados de campo e preparação dos mesmos, esses dados foram inseridos na plataforma de processamento de dados de GIS da marca ESRI, Arcmap. Todos os dados tratados nesse Projeto foram adquiridos ou transformados para coordenadas *UTM* e usam o DATUM UTM SIRGAS 2000 22S.

Primeiramente foi necessário inserir o modelo *SRTM* da região (Figura 13), recortá-lo (Figura 14) para delimitá-lo para a área de estudo e posteriormente

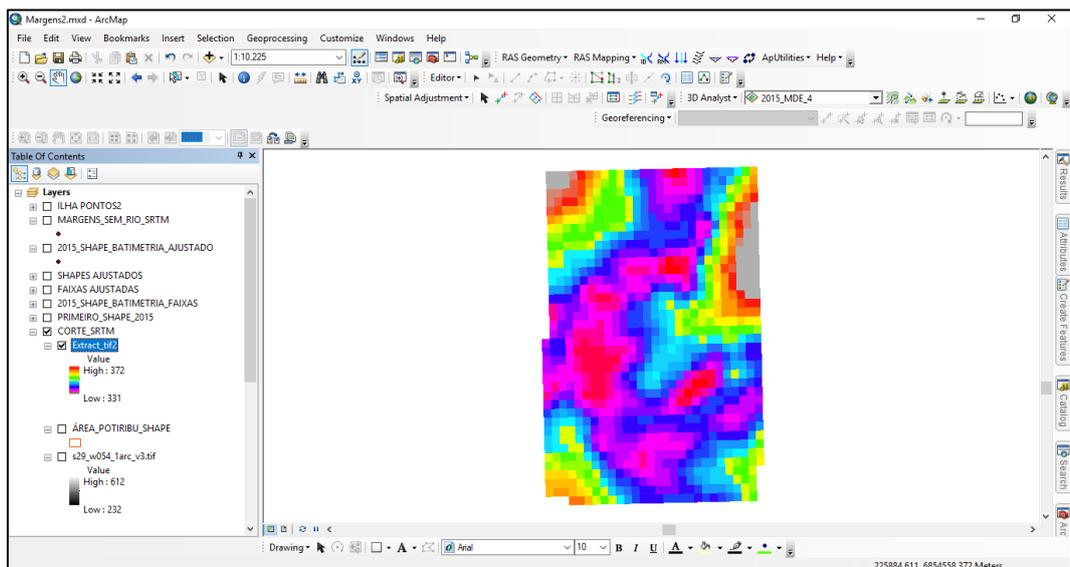
transformar essa imagem em uma malha de pontos com altitude. Essa malha de pontos respeitou a resolução 30m da imagem utilizada e posteriormente foi feito o corte dos pontos que estavam dentro da área do rio, pois esses dados serviram apenas para gerar o perímetro seco e relevo em volta do rio (Figura 15).

Figura 13. Imagem SRTM s29_w054_1arc_v3.tif focada na área de estudo.



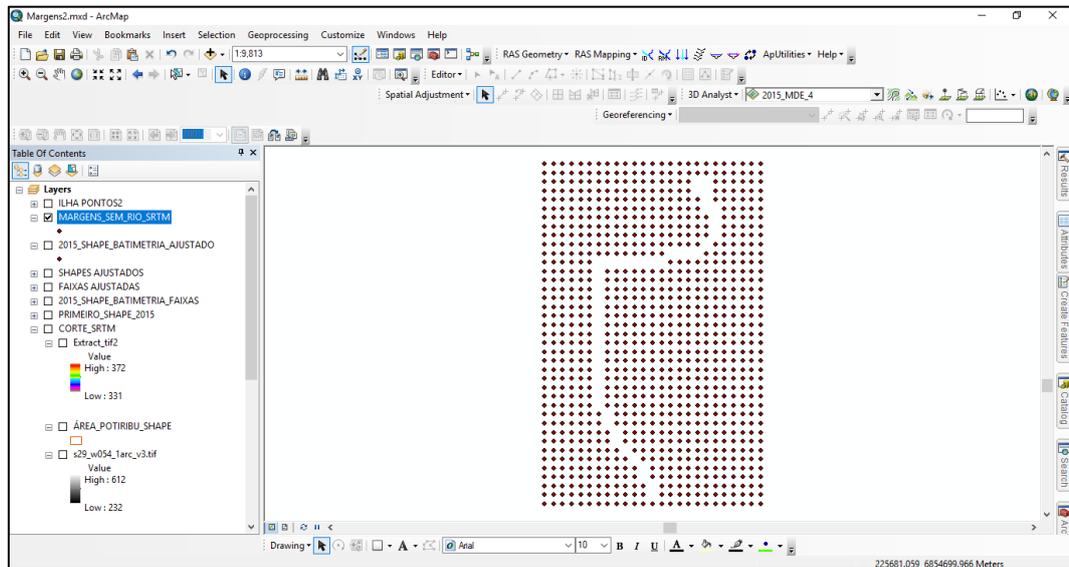
Fonte: Autor.

Figura 14. Imagem SRTM da área em estudo após o recorte (rosa forte baixas elevações e cinza para grandes elevações).



Fonte: Autor.

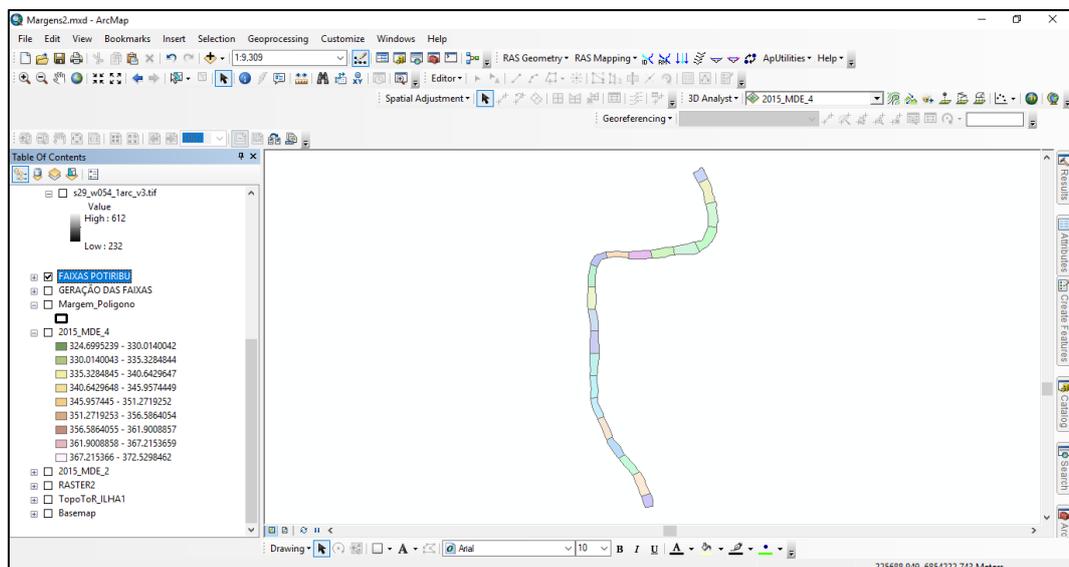
Figura 15. Pontos extraídos da imagem SRTM (sem a área da batimetria) que serviram de base para gerar o MDE.



Fonte: Autor.

Os pontos adquiridos pela batimetria tiveram que passar por um processo além dos demais dados, pois os mesmos eram apenas dados de profundidade do rio, ou seja, a lâmina d'água do rio, que não considerava a inclinação do rio ao longo do trecho em estudo neste Projeto. Desta forma, foi necessário separar os pontos da batimetria em 21 áreas no sentido longitudinal do rio, exportar os pontos separadamente para planilhas Excel e logo após atribuir a altitude de cada uma dessas áreas (Figura 16).

Figura 16. Áreas escolhidas para atribuir as diferenças de altitude.



Fonte: Autor.

O processo para fazer as amarrações de altitudes, cotas e níveis teve maior dificuldade para ser elaborado pois as datas em que foram realizadas a batimetria, o levantamento topográfico para determinar a declividade do rio e ainda o período das coletas de sedimentos de leito não foram as mesmas. Todavia a amarração pôde ser realizada graças as medidas diárias da altitude da linha d'água do rio Potiribu na área montante da Barragem Andorinhas e do nível d'água na área do Posto Fluviométrico rio Potiribu / Andorinhas.

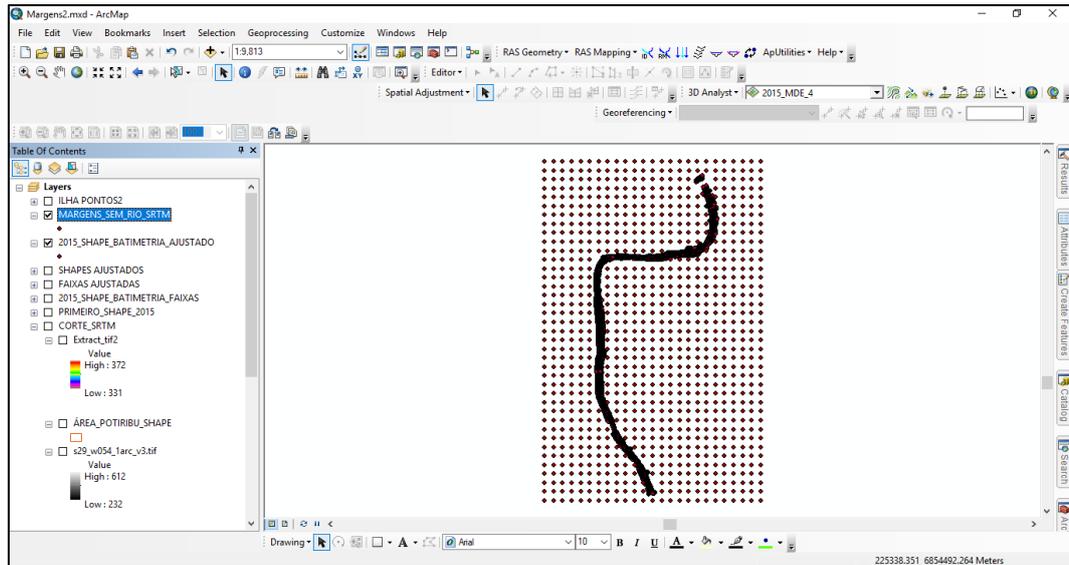
A amarração das cotas dos linígrafos seguiu o seguinte esquema:

Primeiramente foi realizado o levantamento topográfico. Esse levantamento serviu para pegar um ponto de altitude conhecida da Barragem Andorinhas e transportar para os níveis d'água da barragem e do posto fluviométrico, assim amarrando as cotas arbitrárias dos linígrafos daquela data e hora a uma altitude conhecida, além de adquirir a inclinação da linha d'água.

Posteriormente, os dados já adquiridos pelo linígrafo do posto fluviométrico (ainda cota arbitrária) foram transformados em altitude. Essas altitudes são uma série de dados adquiridos desde 2015, desta forma então podendo ser utilizadas as altitudes da batimetria de 2015, para usar na transformação das profundidades adquiridas pelo ADCP em altitudes.

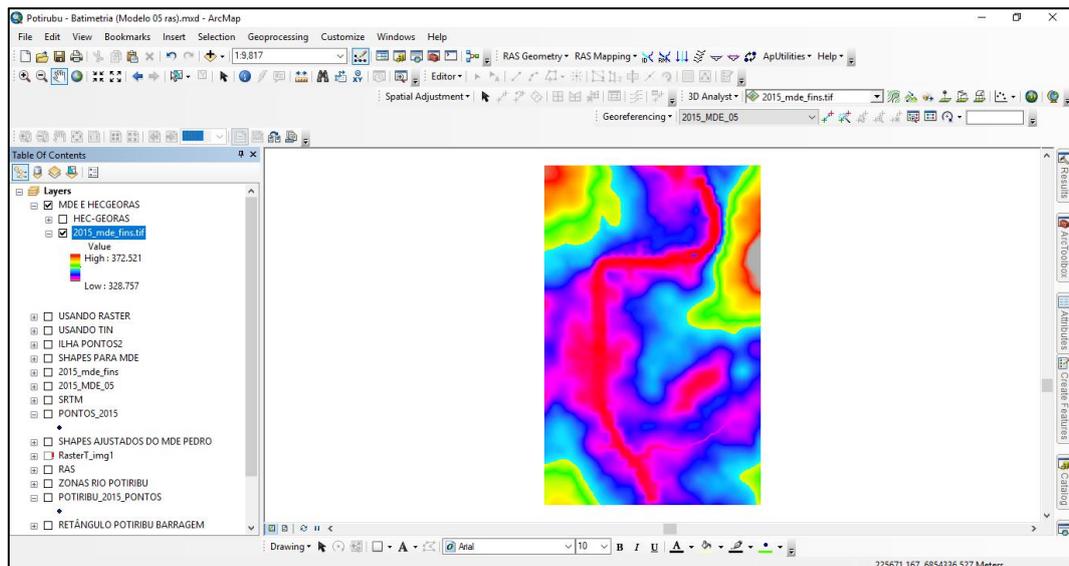
A partir dos *shapes* de pontos das margens (SRTM 30m) e batimetria de 2015 (Figura 17) foi possível gerar um novo arquivo *raster* (Figura 18), o MDE que foi utilizado para gerar os dados de geometria para o programa HEC-RAS.

Figura 17. Malha de pontos utilizada para gerar o MDE.



Fonte: Autor.

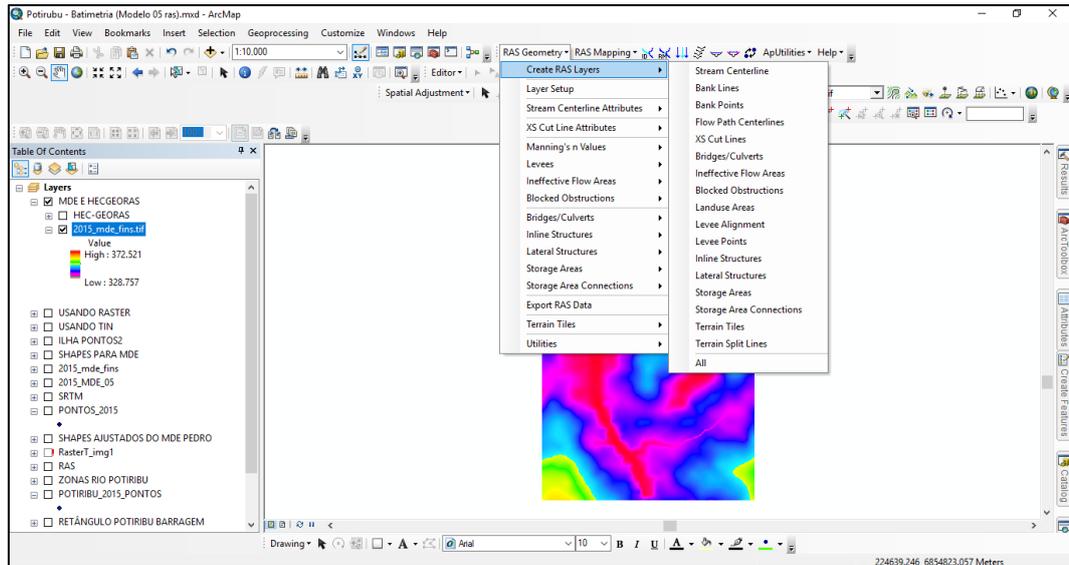
Figura 18. MDE gerado a partir dos *shapes* de pontos SRTM e batimetria 2015 (rosa forte baixas elevações e cinza para grandes elevações).



Fonte: Autor.

Finalizada a etapa de geração do MDE a próxima etapa do processamento dos dados se deu ainda no programa ArcMAP, mas com o *software* Hec-GeoRAS (Figura 19).

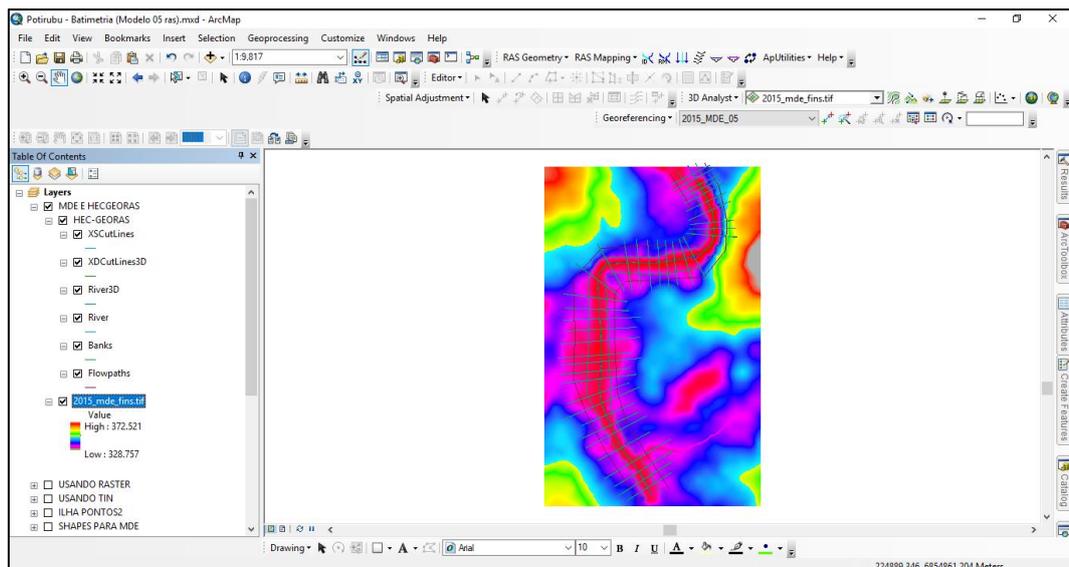
Figura 19. *Layout do software HEC-GeoRAS no ArcMAP.*



Fonte: Autor.

A partir do HEC-GeoRAS foi possível gerar as geometrias necessárias para rodar os modelos no programa HEC-RAS, sendo elas: linha de centro do rio, linhas de margem, linhas de fluxo centrais e laterais e as linhas transversais do rio que foram escolhidas devido à proximidade às transversais de coleta de sedimentos de leito (Figura 20). Posteriormente essas geometrias foram exportadas para o formato RAS.

Figura 20. *Shapes das linhas que foram geradas a partir do MDE.*

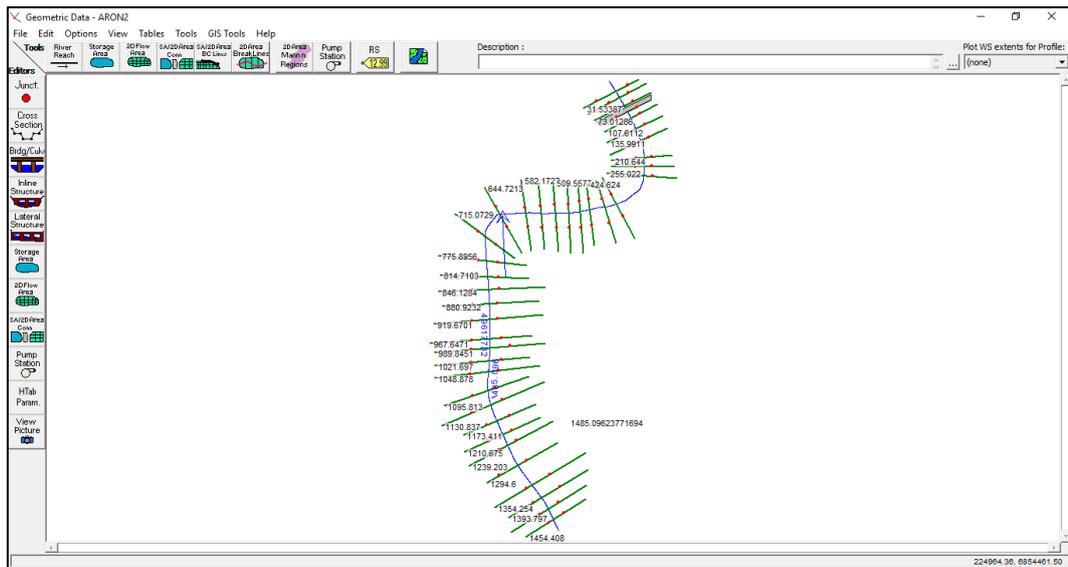


Fonte: Autor.

3.6. PROCESSAMENTO DE DADOS NO HEC-RAS

A próxima etapa consistiu em importar as geometrias para o programa HEC-RAS (Figura 21). A seguir, as geometrias de linhas de margem foram formatadas para ficar mais condizentes com as seções transversais, foram introduzidos os valores de rugosidade, usando coeficientes de Manning às margens e ao leito do rio de acordo com a Tabela 5 e 6, assim como foi adicionada a estrutura da barragem a geometria.

Figura 21. Geometrias no programa HEC-RAS.



Fonte: Autor.

Tabela 4. Coeficiente de rugosidade para coberturas diversas de bacias hidrográficas.

Cobertura da bacia	Coefficiente "n"
Asfalto suave	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila compactada	0,030
Pouca vegetação	0,020
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

Fonte: Tucci, 1993

Tabela 5. Coeficiente de rugosidade para escoamento em rio e reservatórios.

Tipo	Intervalo de "n"
CANAIS COM REVESTIMENTO	
Pouco lisos	0,017 – 0,019
Alisado	0,010 – 0,013
Paredes rugosas	0,019 – 0,021
Paredes de terra com vegetação	0,028 – 0,032
RIOS	
Limpos e retilíneos	0,025 – 0,033

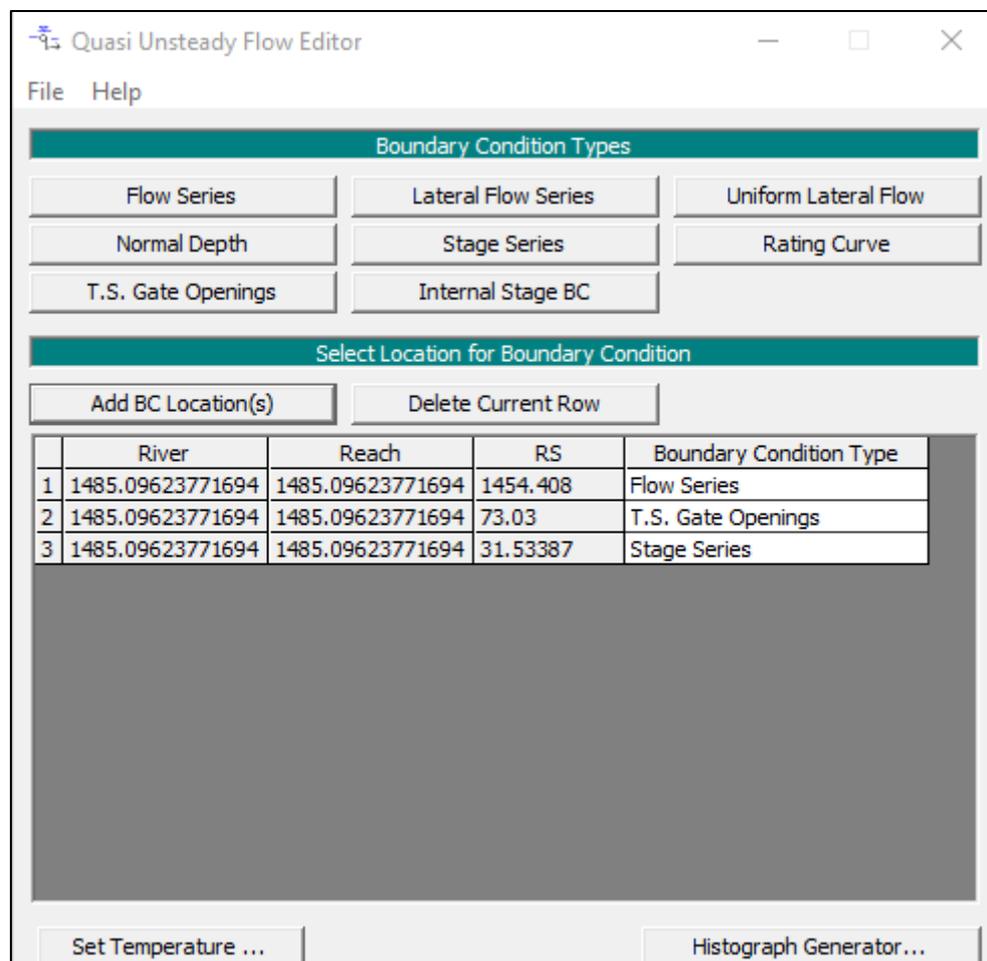
Limpos e retílineos com vegetação	0,030 – 0,040
Com meandros, vegetação e pedras	0,033 – 0,060
Com área de inundação e vegetação	0,075 – 0,150

Fonte: Tucci, 1993

Após determinar toda a geometria da área de estudo foram adicionadas as variáveis de dados de fluxo quase permanente (Figura 22). Nessa janela do programa, foi necessário antes preparar dados de vazão, temperatura (usada média de 16,30°C para o período em análise), altitude, data e hora da transversal de início e fim do programa, as quais foram consideradas as seções transversais do Posto Fluviométrico Andorinhas e uma transversal a jusante da Barragem Andorinhas (Apêndice D). Também, nessa janela, foram adicionados dados referentes a abertura da barragem, que embora funcione como um vertedor, no programa teve que ser configurada como portão para bem da computação dos dados ter êxito.

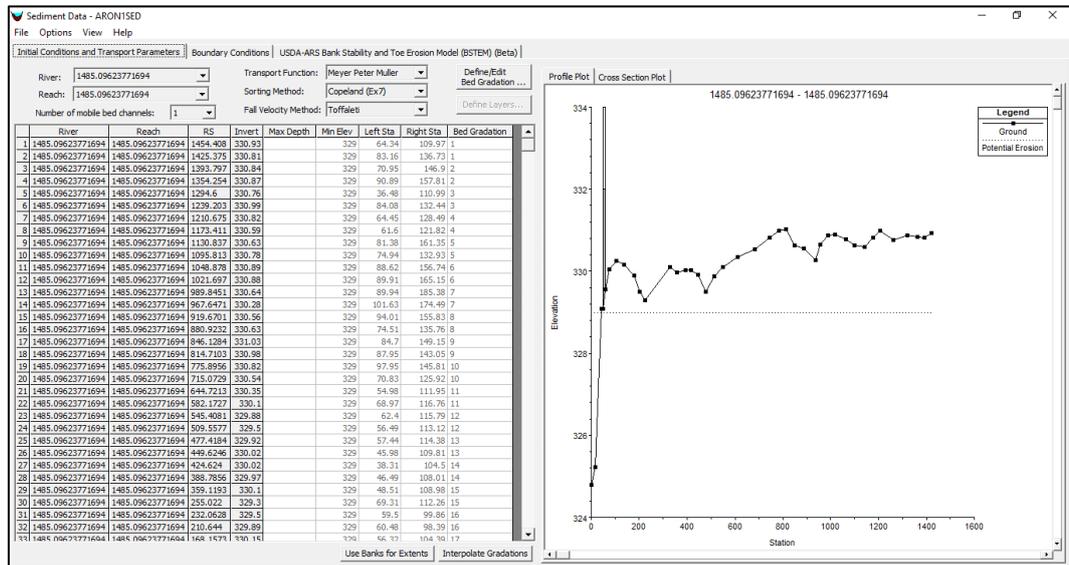
Posteriormente a adição de dados de fluxo, foram adicionados os dados referentes aos sedimentos da área de estudo (Figura 23).

Figura 22. Área do HEC-RAS utilizada para preencher dados de fluxo variável.



Fonte: Autor.

Figura 23. Janela para inserção de dados hidrossedimentológicos.



Fonte: Autor.

Para estes dados foram utilizados os resultados das análises granulométricas realizadas no Laboratório de Sedimentos do IPH/UFRGS. Foram inseridas as granulometrias médias de cada seção analisada nas transversais próximas a essas seções. Também foram inseridos os dados de elevação do embasamento (329m, pois em alguns pontos de coleta de leito foram identificados pontos de lajeado, assim aproximando a elevação do embasamento nesse trecho do rio a uma medida não muito menor que o próprio leito).

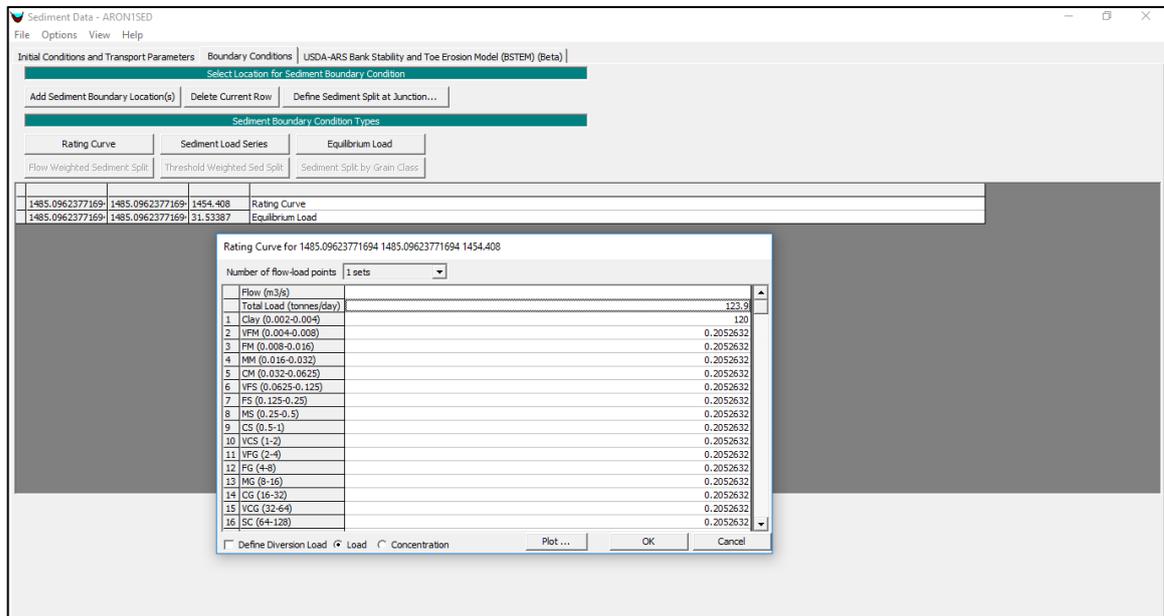
A função de transporte de sedimentos de fundo escolhida para ser utilizada foi a de Meyer-Peter e Muller (1948), que foi gerada a partir de experimentos com partículas de tamanho arenoso e cascalhoso.

O método de classificação escolhido foi o de Copeland (1993), pois o mesmo usa um algoritmo alternativo ao de Thomas, mas projetado para rios com leito arenoso, assim estando mais de acordo com o trecho de rio em estudo.

Para o método de velocidade de queda foi utilizado o algoritmo Report 12, pois cobre grande quantidade de tamanhos de sedimentos, utilizada a temperatura no seu algoritmo diretamente e é recomendada pela *American Society of Civil Engineers*, sendo o algoritmo padrão utilizado pelo HEC-RAS.

Ainda nos dados hidrossedimentológicos, foram adicionadas condições de fluxo de sedimentos, baseando-se a transversal a montante (posto fluviométrico) em medições realizadas pelo Projeto SEDIRESERV dentro do período utilizado, para rodar o modelo (12/04/2016 – 123,90ton/dia de sedimentos a uma vazão de 18,89m³/s). Como essa medição não foi realizada em um pico de cheia, o valor de sedimentos de arraste foi extrapolado de 0,05% para aproximadamente 3% (Figura 24).

Figura 24. Janela para adição de dados de fluxo de sedimentos.



Fonte: Autor.

Após carregar todos os dados necessários no programa HEC-RAS, o modelo foi rodado, gerando os perfis transversais (Apêndice F) e longitudinal do rio (Figura 25).

Para rodar esse programa, além dos dados acima já citados, segue abaixo a lista de dados utilizados:

Períodos entre medidas de escoamento: 24horas;

Altitude mínima de erosão: 329m;

Incremento computacional: 1 a 24 horas, variável;

Rugosidade do canal (perímetro constantemente molhado): 0,034;

Rugosidade das margens (perímetro seco): 0,4.

Durante todo o processamento dos dados na plataforma do HEC-RAS foram testadas diversas possibilidades de algoritmos para entender melhor o funcionamento do programa e também testar os resultados. Desta forma, foram escolhidos os algoritmos mais indicados pela bibliografia e que produziram os dados mais sensatos (sem grande exagero de erosão e/ou assoreamento no curto espaço de tempo de nove meses que foi o período de dados utilizados para rodar o programa). Ainda assim segue nos resultados o segundo melhor resultado observado nos testes e que utilizou algoritmos dentro dos padrões do trecho em estudo do rio Potiribu.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. GRANULOMETRIA DE SEDIMENTOS DE LEITO

Terminadas as análises granulométricas, foram estabelecidas as faixas granulométricas, as curvas granulométricas e os D50 e D90 de cada amostra.

O D50 apresentou média 3,64mm e mediana 0,55mm enquanto o D90 ficou com média 4,35mm e mediana 1,23mm. Desta forma, nota-se que o leito deste trecho do rio é essencialmente formado por areias e partículas mais grossas, não sendo a granulometria do latossolo (material argilo-siltoso) típico da região que representa a granulometria do leito a montante do rio Potiribu.

Tabela 6. Resultado das análises granulométricas dos pontos coletados no trecho em estudo do rio Potiribu.

RIO	SEÇÃO	VERTICAL	D50 (mm)	D90 (mm)
POTIRIBU	S1	25%	0.4747	1.2473
POTIRIBU	S1	50%	0.5313	0.9968
POTIRIBU	S1	75%	0.3537	0.6280
POTIRIBU	S2	25%	0.5488	1.0529
POTIRIBU	S2	50%	0.6407	2.7696
POTIRIBU	S2	75%	0.2617	0.4734
POTIRIBU	S3	25%	0.4480	0.6954
POTIRIBU	S3	50%	0.6055	1.5036
POTIRIBU	S3	75%	0.5680	1.2647
POTIRIBU	S4	25%	0.7575	1.9604
POTIRIBU	S4	50%	0.4780	1.0428
POTIRIBU	S4	75%	0.4452	0.7059
POTIRIBU	S5	25%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S5	50%	0.5474	1.1329
POTIRIBU	S5	75%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S6	25%	0.5956	1.5493
POTIRIBU	S6	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S6	75%	0.4220	0.6596
POTIRIBU	S7	25%	0.6423	1.3004
POTIRIBU	S7	50%	26.6700	26.6700

POTIRIBU	S7	75%	56.6000	56.6000
POTIRIBU	S8	25%	0.4935	1.1802
POTIRIBU	S8	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S8	75%	0.4907	0.7009
POTIRIBU	S9	25%	0.6781	1.7989
POTIRIBU	S9	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S9	75%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S10	25%	0.4374	1.0376
POTIRIBU	S10	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S10	75%	0.5967	1.2047
POTIRIBU	S11	25%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S11	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S11	75%	1.2796	2.6762
POTIRIBU	S12	25%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S12	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S12	75%	1.1163	2.6049
POTIRIBU	S13	25%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S13	50%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S13	75%	0.5992	1.3935
POTIRIBU	S14	25%	1.0008	2.6124
POTIRIBU	S14	50%	0.6552	2.5958
POTIRIBU	S14	75%	0.4709	0.7022
POTIRIBU	S15	25%	0.5306	1.0533
POTIRIBU	S15	50%	0.5552	1.2325
POTIRIBU	S15	75%	0.8223	2.0227
POTIRIBU	S16	25%	0.6099	1.4324
POTIRIBU	S16	50%	0.6820	2.3491
POTIRIBU	S16	75%	0.1686	0.5232
POTIRIBU	S17	25%	LAJEADO	LAJEADO
POTIRIBU	S17	50%	0.1643	0.5837
POTIRIBU	S17	75%	0.4700	0.6740
POTIRIBU	S18	25%	1.1924	2.4184
POTIRIBU	S18	50%	0.6639	2.2005
POTIRIBU	S18	75%	0.5065	1.3702
POTIRIBU	S19	25%	0.1610	0.3148
POTIRIBU	S19	50%	0.5416	1.0016
POTIRIBU	S19	75%	64.0000	64.0000
POTIRIBU	S20	25%	0.0995	0.2473
POTIRIBU	S20	50%	0.3303	0.6248
POTIRIBU	S20	75%	0.2779	1.3975
POTIRIBU	S21	25%	0.0999	0.3548
POTIRIBU	S21	50%	0.6312	5.3288
POTIRIBU	S21	75%	2.4154	17.1971

Fonte: Autor.

Foi gerado um mapa de deposição relativo às coletas de leito realizadas na campanha de campo entre 28/04/2018 e 29/04/2018 com gráficos de pizza classificando os sedimentos de leito em três faixas: Cascalho, areia e silte/argila (Apêndice B).

4.2. ANÁLISE EROSIVO-DEPOSICIONAL DO TRECHO DE RIO ESTUDADO

Os resultados adquiridos pelo programa HEC-RAS foram utilizados de forma qualitativa a fim de determinar se o trecho do rio Potiribu em estudo está sendo erodido, assoreando ou ainda se acontecem essas duas possibilidades em diferentes áreas.

O programa foi dimensionado para determinar o comportamento das partículas que são transportadas normalmente por arraste, ou seja, partículas de tamanhos arenosos ou maiores, embora tenha sido computado o fluxo de partículas finas. Todavia, foi inserido nos dados de fluxo em suspensão de jusante que 97% de partículas eram finas, assim limitando a quantidade de material a ser depositado no leito a montante da barragem, pois elas tendem a ficar em suspensão.

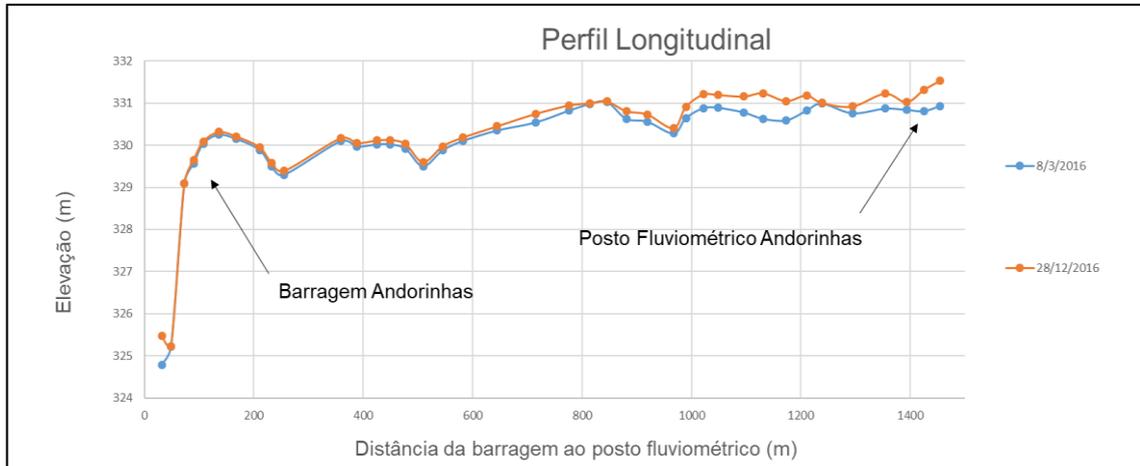
O modelo de transporte de sedimentos gerou 39 perfis transversais de gradação do leito (Apêndice F) assim como um perfil longitudinal (Figura 25) do trecho estudado. A partir desses resultados, nota-se que o comportamento para partículas de tamanho mais grosso tende a ser mais deposicional do que erosivo, principalmente nos trechos que antecedem curvas maiores do rio (S4, S5, S6, S7, S8 e S13, S14, S15 – apêndices D e F). Também foram testados no programa várias combinações de algoritmos possíveis de se usar dentro das características da área em estudo a fim de testar possíveis exageros de modelagem. Desta forma, o perfil longitudinal do rio Potiribu (Figura 26) mostra claramente a grande variação que a escolha dos parâmetros alternativos (função de transporte de Yang, velocidade de decantação de *Report 12*, classificação das camadas de leito de camada ativa e opção de depósito de reservatório) pode implicar na geração de um modelo no resultado final.

Avaliando as seções transversais (Apêndice F), as seções transversais iniciais *versus* as seções transversais de saída do HEC-RAS mostram as seguintes mudanças do leito do rio:

- Assoreamento: Seções 1, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 35, 36;
- Erosão: 6, 17, 18, 37;
- Erosão e assoreamento: 2, 3, 7 e 8;

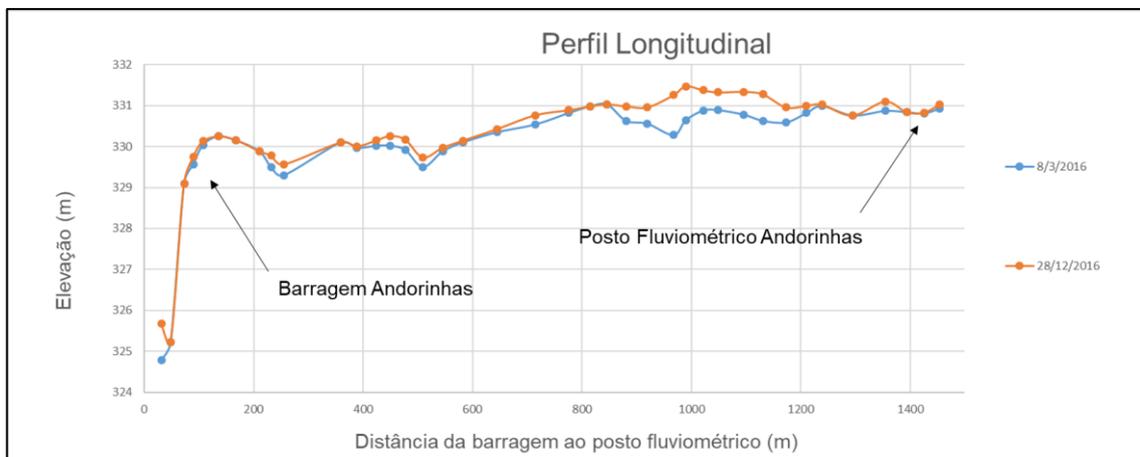
- Sem mudanças: 30, 31, 32, 38 e 39.

Figura 25. Perfil Longitudinal de variação da elevação gerada pelo modelo do programa HEC-RAS do trecho estudado do rio Potiribu.



Fonte: Autor.

Figura 26. Perfil Longitudinal de variação da elevação gerada pelo modelo do programa HEC-RAS do trecho estudado do rio Potiribu com algoritmos alternativos.



Fonte: Autor.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar a variação erosivo-deposicional do leito no trecho a montante da barragem da usina de Andorinhas, no rio Potiribu. O principal foco foi determinar qualitativamente o comportamento da carga de fundo (sedimentos grossos da bacia hidrográfica) a montante da Barragem. Os resultados obtidos nas simulações realizadas no programa HEC-RAS indicam que de fato houve o assoreamento de sedimentos grossos (areia e cascalho) no leito do rio, principalmente nas seções a montante das curvas mais sinuosas do rio, atendendo ao objetivo da pesquisa, que é a determinação qualitativa. Para uma conclusão quantitativa sobre a erosão/assoreamento do trecho de rio estudado, seria necessário utilizar um período maior de dados que se usou nesta pesquisa (9 meses) e uma gama maior de dados coletados na bacia.

Desta forma, fica evidente o grande potencial que modelos hidrossedimentológicos têm para contribuir para com o monitoramento e prevenção de assoreamento de reservatórios.

7. RECOMENDAÇÕES

Foi observado que eram necessários muitos dados para a simulação da evolução erosivo-deposicional pelo modelo HEC-RAS. Os dados que foram coletados a campo, são mais confiáveis que os obtidos por revisão bibliográfica, já que se trata de outras regiões. Desta forma, tais dados poderiam ser coletados a campo de forma aos resultados do modelo se tornarem mais quantitativos. Seguem abaixo os dados que poderiam ser adquiridos no campo:

- Topografia do perímetro seco: Em rios onde a área ao redor é coberta por floresta é difícil de levantar a topografia apenas com drones e/ou estações totais devido à falta de visada. A forma indireta de adquirir as altitudes do perímetro seco é por imagens *SRTM* 30m, mas a exatidão desses dados para escalas de trabalho relativamente grandes (rios com menos de 30m de largura) deixa a desejar, além de prejudicar a forma real do talude do rio. Desta forma, indica-se para futuros trabalhos na área de estudo deste Projeto fazer levantamentos topográficos das margens do rio com estação total ou *RTK* (*Real Time Kinematic*), no caso da estação total, da área de floresta com *RTK* e da área de plantio com estação total, *RTK* ou drone.

- Batimetria do perímetro molhado: A batimetria realizada pelo Projeto SEDIRESERV não contou com o sistema de *DGPS* do *ADCP Sontek River Surveyor M9*, pois esse sistema de *GPS* diferencial não funcionou devido à falta de licenças e/ou falha desse sistema na área de estudo. Desta forma a altitude dos pontos de medida foi prejudicada, pois o *GPS* de navegação do *ADCP* não faz medidas de altitude precisas. Recomenda-se utilizar um sistema *RTK* acoplado ao levantamento batimétrico para garantir medidas de altitude e coordenadas norte e este mais exatas.

- Rugosidade “n”: adquirido a partir de tabelas, mas pode ser calculado a partir de mais dados de entrada da bacia, tais como raio hidráulico, granulometria de leito, etc;

- Temperatura: Adquirida pela média de 5 medidas feitas em campanhas que foram realizadas em datas dentro do período do modelo. O ideal seria ter um sensor em campo que colete no mínimo 2 medidas diárias de temperatura na área de montante e de jusante do modelo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M.; RIBEIRO, A.C.O.. **A Terra em transformação**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds.). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 Ed.. Brasília: Aneel, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: 1994.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R.. **Elementos de Engenharia de Sedimentos**. In: TUCCI, C. E. M. (org). Porto Alegre: Ed. da UFRGS, EDUSF, ABRH, 1997.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de jan. de 1997. **Da Política Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, DF, mar. 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 15 out. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Boletim Técnico, convênio MA/DPP – SA/ DRNR. Recife, 1973.

BRITO, E.. **Estimativa da produção de sedimentos da Bacia do Rio Santa Maria da Vitória – Espírito Santo através do modelo matemático Soil and Water Assessment Tool (SWAT)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória: 2015.

BRUNNER, G. W.. **HEC-RAS: River Analysis System User's Manual**. Version 5.0. HEC US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC). Davis, CA: 2016.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V.. **Introdução à ciência da geoinformação**. Brasil: 2001.

CARVALHO, A. P.; ABRÃO, P. U. R.; FASOLO, P. J.; POTTER, R. J.. **Levantamento semi-detalhado dos solos da bacia do arroio Taboão (Pejuçara/Ijuí RS)**. Mapa 1:25.000, Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1990.

CARVALHO, N. O.. **Hidrossedimentologia Prática**. 2 Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W.. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000.

CASTRO, N.M. dos R.. ***Ruissellement et érosion sur des bassins versants de grande culture du plateau basaltique du sud du Brésil (Rio Grande do Sul)***. 224p. Tese (doutorado em Geografia Física Hidrologia e Geomorfologia). *Université Louis Pasteur, Strasbourg*, 1996.

CORRÊA, I. C. S.. **Topografia aplicada à Engenharia Civil**. 9ª Ed.. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2007.

COSTA, S. B.. **Modelo unidimensional preliminar de transporte de sedimentos para o reservatório Taiapuê**. 2018. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DEPINÉ, H.; CASTRO, N. M. R.; PINHEIRO, A.; PEDROLO, O.. **Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais**. 2013. Porto Alegre: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, p. 51-63, 2014.

DORNELES, L. F. S.. **Formação Serra Geral (Cretáceo, Bacia do Paraná) - Um análogo para reservatórios não convencionais fraturados**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.

FLORENZANO, T. G.. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 101p., 2007.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006.

GAGG, G.. **Apostila de Levantamentos Hidrográficos: Noções Gerais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, 2016.

GARCIA, G. E.; GONÇALVES, J. E.. **Implementação de Modelo Numérico para Avaliação do Transporte de Sedimentos no Reservatório de Itaipu – PR**. Porto Alegre: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.16, n.3, 2011.

GAMARO, P.E.. **Medidores Acústicos Doppler de Vazão**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2012.

LEINZ, V.; AMARAL, S.E.. **Geologia geral**. 8 Ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, p. 397, 1980.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.. **Simulação da Produção de Sedimentos para a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP)**. São Paulo: Ver. Bras. Ci. Solo 27, p. 735-741, 2003.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R.. **Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin: an introduction**. In: Piccirillo, E.M. & Melfi, A.J. (Eds.). **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: USP, p 1- 13, 1988.

NUMMER, A.V.. **Parâmetros geológico-geotécnicos controladores dos movimentos de massa na Rota do Sol/RS 486 – Itati, RS**. Tese de doutorado. PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, p. 241, 2003.

OLIVEIRA, M.H.C.; SARI, V.; CASTRO, N.M. DOS R.; PEDROLLO, O.C.. **Estimation of soil water content in watershed using artificial neural networks**. Hydrol. Sci. J. 62, 2120–2138, 2017.

PELL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences 11:1633-1644, 2007.

SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. A. N. G.. **Análise granulométrica por peneiramento**. IN: Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 55-72, 2007.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F.. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: LATEC, 2001.

SARI, V.; DOS REIS CASTRO, N.M.; PEDROLLO, O.C.. ***Estimate of Suspended Sediment Concentration from Monitored Data of Turbidity and Water Level Using Artificial Neural Networks***. Water Resour. Manag. 31, 4909–4923. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11269-017-1785-4>>.

Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. Serviço Geológico Brasileiro, Brasília: 2006.

STRAHLER, A. N.. ***Hypsometric analysis of erosional topography***. Geologic Society American Bulletin, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

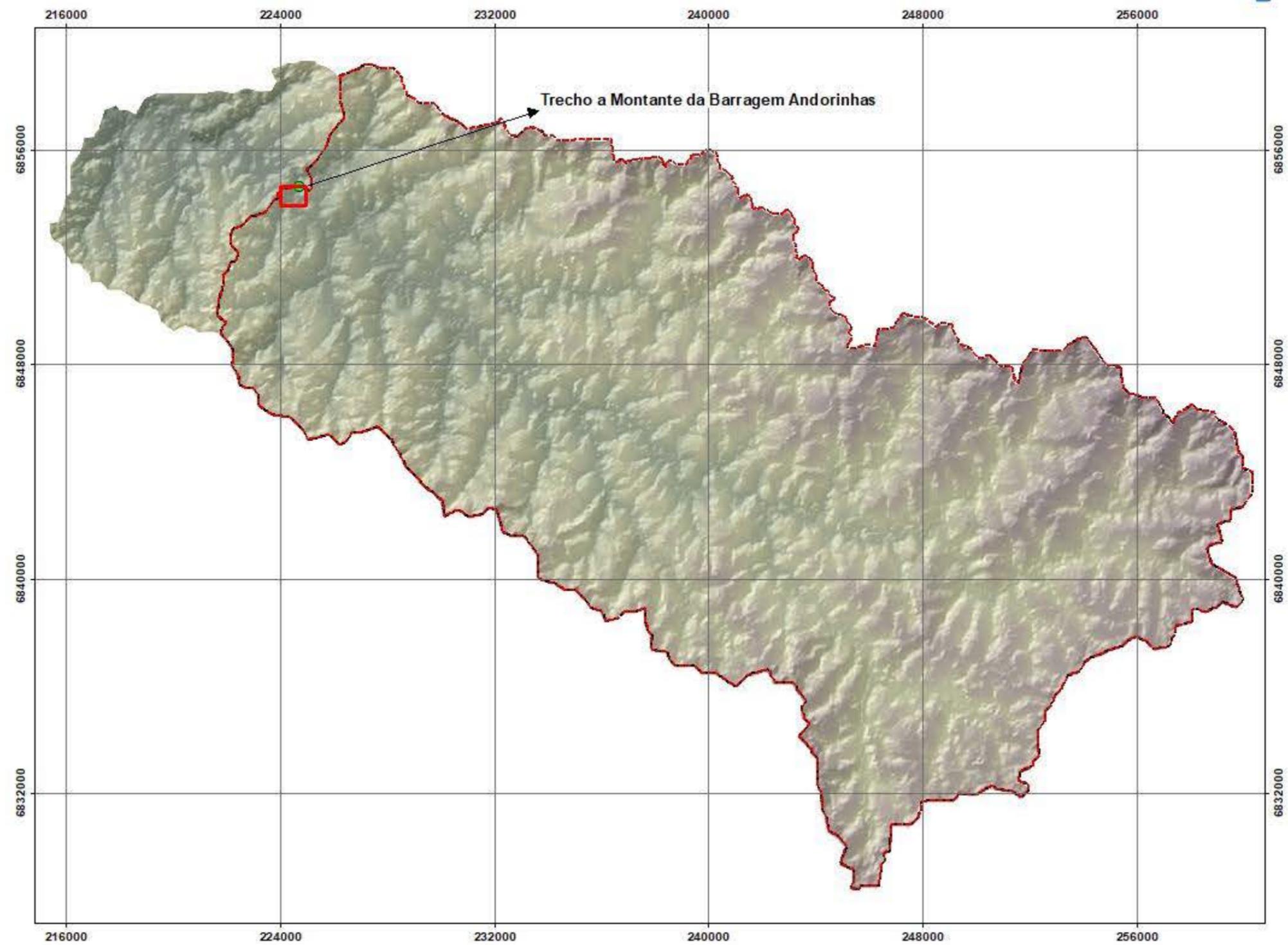
TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 Ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, EDUSP, 1993.

WENTWORTH, C. K.. ***A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments***. State University of Iowa. *Journal of Geology* 30: 377 – 392. EUA, 1922.

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J., MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A.. **Bacia do Paraná**. In: RAJAGABAGLIA, G.P. & MILANI, E.J. (Coords.) *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, p.135-168, 1990.

APÊNDICES

Apêndice A. Mapa da Bacia do Potiribu



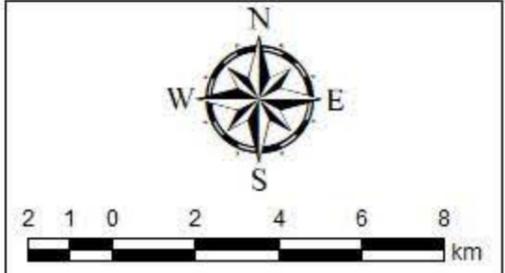
Legenda

- Potiribu - Exutório (Usina)
- SubBacia do Rio Potiribu (Usina)

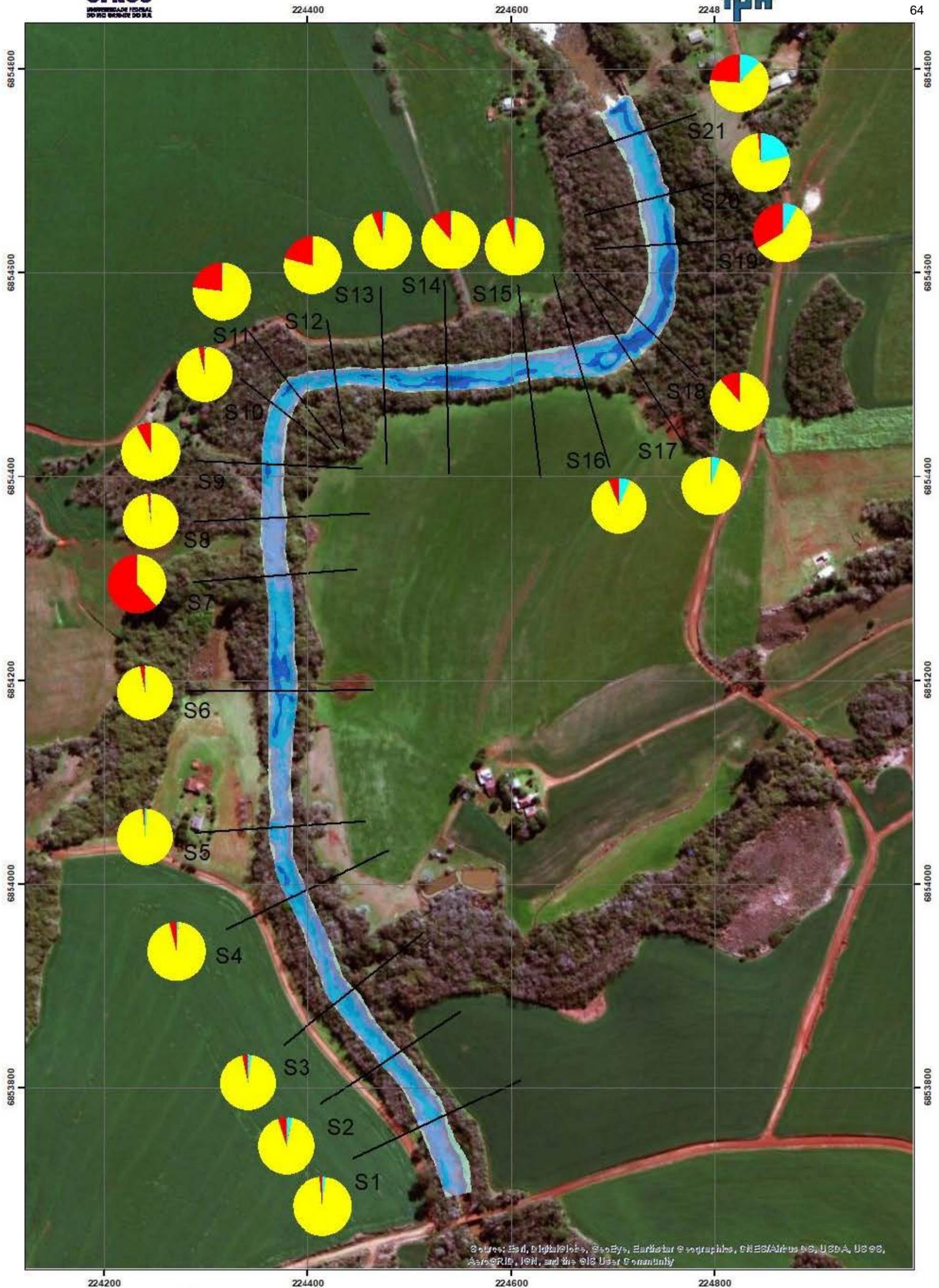
Elevação (m)

Value

- High : 513,594
- Low : 295,241



Apêndice A. Bacia do Potiribu		Página: 63
Sistema de Referência: SIRGAS 2000		
Sistema de Projeção: UTM 22S		
Escala (Bacia Potiribu): 1:170.000		Escala (Trecho a montante da Barragem): 1:15.000
Data: 19/10/2018		Área Bacia do rio Potiribu: 563km ²
Autor: Aron Jonatã Funke		Área da bacia a montante da CGH Andorinhas: 547km ²



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Legenda:

Convenções

- ~ Seções Transversais de Amostragem
- Batimetria (20 15) - Re s. (10cm)

Profundidade (m)

- +3.0
- 2.5 -1.0
- 2.0 -2.0
- 1.5 -2.0
- 1.0 -7.0
- 0.5 -1.0
- 0.0 -3.0

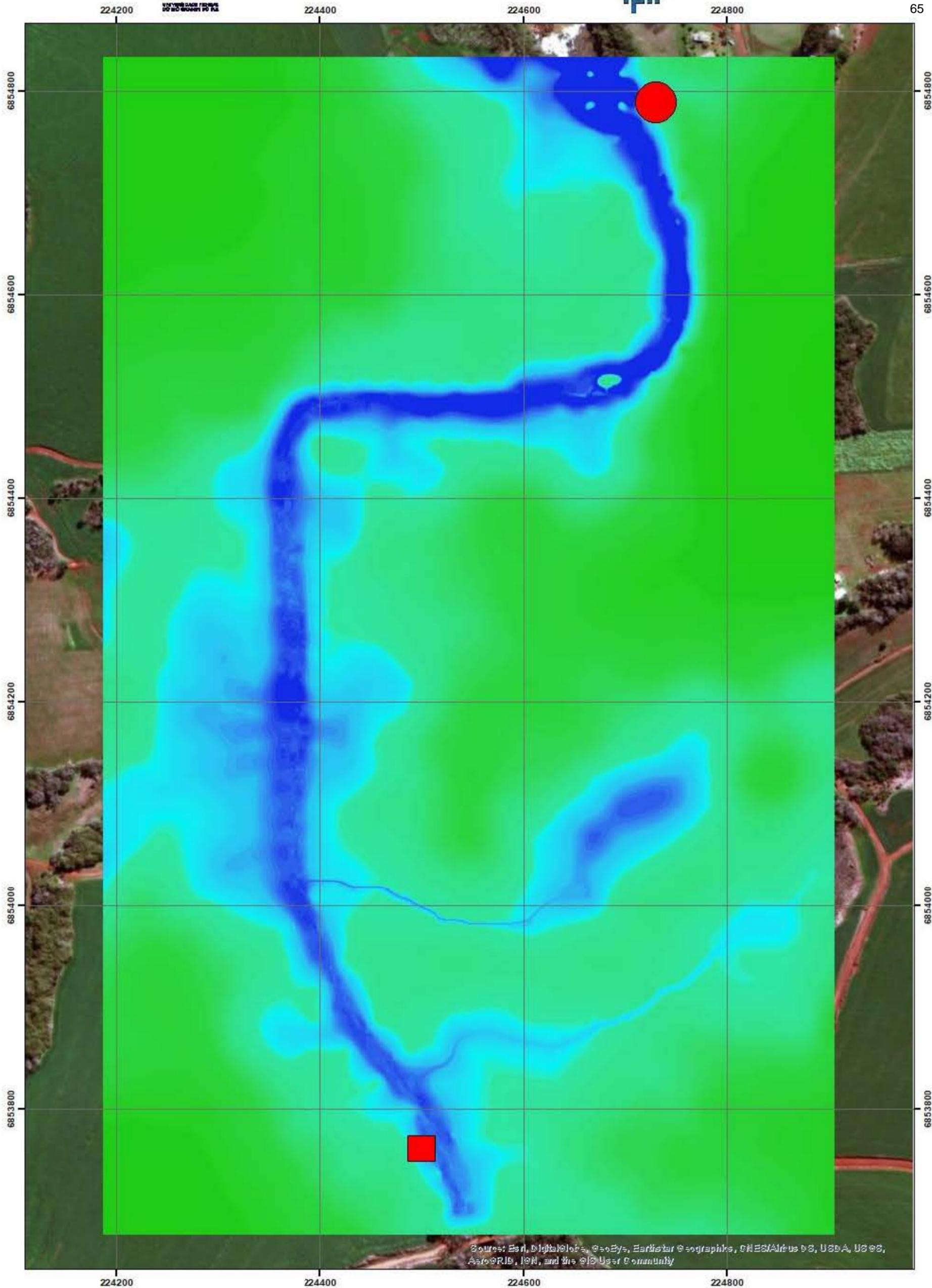
Gráfico de granulometria do leito por transversal

- Cascalho
- Areia
- Silte / Argila

Referência Cartográfica

Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Sistema de Projeção: UTM
Escala: 1:3500

Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
Apêndice B. Batimetria e Granulometria de leito do Reservatório	
Autor: Aron Jonatã Funke	Página: 64
Equipe responsável pela batimetria: Aron Jonatã Funke Pedro Manoel de Matos João Carlos de Souza Luiz Carlos Rupp Gleice Fátima de Sá Mariane Michelini de Souza Miguel Henrique de Souza	Equipe responsável pelas coletas de leito: Aron Jonatã Funke Aldo de Moura de Souza Renata Tibério de Souza
Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Produtor e Promotor para a Avaliação do Aporte de Sedimentos: Estudo de Capacidade Hídrica em Reservatórios de Geração de Energia FINEPA/UFGRS nº 01.1421/03	



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

LEGENDA:

ALTITUDE (m)
Value
Máxima : 372.53
Mínima : 324.7

■ Posto Fluviométrico Andorinhas
● Margem direita da Barragem Andorinhas

Referência Cartográfica

Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Sistema de Projeção: UTM
Escala: 1:3500

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

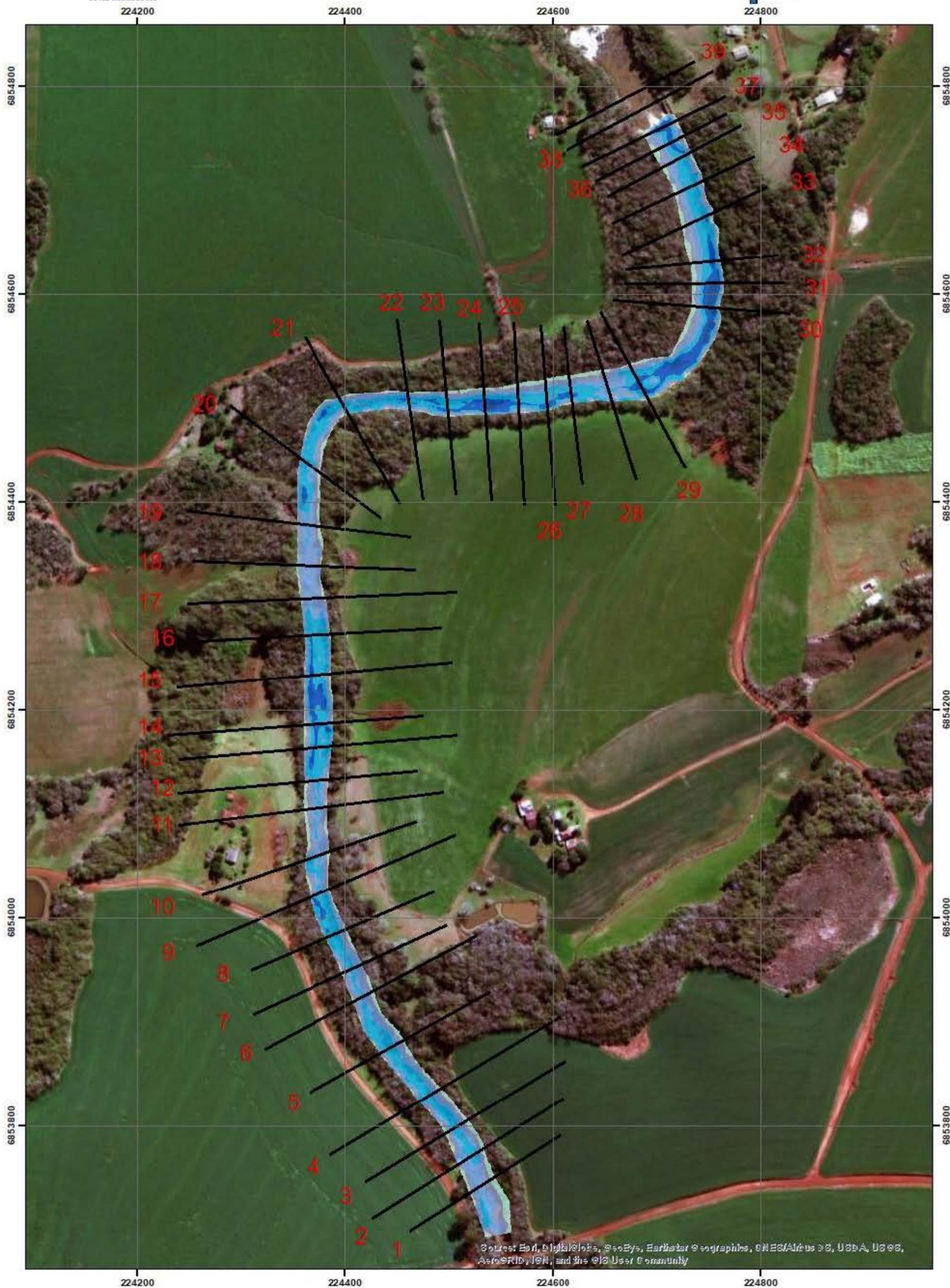
Apêndice C. Modelo Digital de Elevação do Rio Potiribu

Autor: Aron Jonatã Funke Página: 65

Equipe responsável pela batimetria:
Aron Jonatã Funke
Pedro Manoel de Matos
João Carlos de Souza
Luiz Carlos Romão
Gleice Furtado de Alencar
Mariane Silveira de Aguiar
Miguel Henrique de Oliveira

Coordenadora:
Márcia Helena de Castro
Dani Lages

Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento
Produto e Programa para a Avaliação do Aporte de
Sedimentos: Estudo a Caponibilidade Hidráulica em
Reservatórios de Captação de Energia
ENERFAP/URGS nº 01.1421/18



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Legenda:

Convenções

Transversais HEC-RAS

Batimetria (2015) - Res. (10cm)

Profundidade (m)

- > 3,0
- 2,5 - 3,0
- 2,0 - 2,5
- 1,5 - 2,0
- 1,0 - 1,5
- 0,5 - 1,0
- 0,0 - 0,5



Universidade Federal do Rio Grande do Sul	
Apêndice D. Seções Transversais HEC-RAS	
Autor: Aron Jonatã Funke	Página: 66
Equipe responsável pela batimetria Aron Jonatã Funke Pedro Manoel de Matos João Carlos de Souza Luiz Carlos Ringer Gleici Furtado de Sá Miguel Silveira de Azevedo Miguel Henrique de Sá	Equipe responsável pelas coletas de leito Aron Jonatã Funke Aldemar Manoel de Sá Renata Tibério de Sá
<p>Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Produção e Processos para a Avaliação do Aporte de Sedimentos: Visando a Capacidade Histórica em Reservatórios de Geração de Energia FINEP/FAURGS Nº 01.1421/19</p>	

rryaruyha

Apêndice E. Dados de entrada para o modelo no programa HEC-RAS

DATA	Altitude Barragem Jusante (m)	Altitude Posto Fluviométrico (m)	Vazão Posto Fluviométrico (m ³ /s)
7/3/2016	326,0000	332,9772	11,5088
8/3/2016	325,9800	332,9572	10,9247
9/3/2016	325,9600	332,9372	11,5088
10/3/2016	325,9800	332,9572	15,9088
11/3/2016	326,0200	332,9972	16,1519
12/3/2016	325,9800	332,9572	12,9487
13/3/2016	325,9600	332,9372	11,5088
14/3/2016	325,9200	332,8972	10,7344
15/3/2016	325,9000	332,8772	10,1767
16/3/2016	325,8800	332,8572	9,8159
17/3/2016	325,8600	332,8372	9,4639
18/3/2016	325,8400	332,8172	8,9524
19/3/2016	325,8400	332,8172	8,7863
20/3/2016	325,7800	332,7572	8,7863
21/3/2016	326,0400	333,0172	15,1927
22/3/2016	326,0600	333,0372	15,9088
23/3/2016	326,0400	333,0172	13,3799
24/3/2016	326,0000	332,9772	10,1767
25/3/2016	325,9800	332,9572	20,6212
26/3/2016	326,4400	333,4172	45,2887
27/3/2016	326,3600	333,3372	41,0647
28/3/2016	326,2200	333,1972	21,7652
29/3/2016	326,0800	333,0572	17,1463
30/3/2016	325,9600	332,9372	15,1927
31/3/2016	325,9400	332,9172	14,0432
1/4/2016	325,9200	332,8972	13,1632
2/4/2016	325,9200	332,8972	12,7364
3/4/2016	325,9000	332,8772	12,5263
4/4/2016	325,8800	332,8572	12,5263
5/4/2016	325,8600	332,8372	12,1127
6/4/2016	325,8000	332,7772	11,5088
7/4/2016	325,7600	332,7372	11,3119
8/4/2016	325,9200	332,8972	16,3972
9/4/2016	326,0200	332,9972	18,7039
10/4/2016	326,0600	333,0372	15,6679
11/4/2016	326,0200	332,9972	16,1519
12/4/2016	326,0000	332,9772	16,1519
13/4/2016	325,9600	332,9372	15,4292

14/4/2016	326,0000	332,9772	18,1759
15/4/2016	325,9600	332,9372	18,1759
16/4/2016	325,9400	332,9172	15,4292
17/4/2016	325,9200	332,8972	14,4964
18/4/2016	325,9000	332,8772	13,8199
19/4/2016	325,8800	332,8572	13,3799
20/4/2016	325,8600	332,8372	12,9487
21/4/2016	325,8400	332,8172	14,7263
22/4/2016	325,9200	332,8972	14,7263
23/4/2016	325,9400	332,9172	18,7039
24/4/2016	326,0000	332,9772	20,9039
25/4/2016	327,0200	333,9972	128,2672
26/4/2016	327,0800	334,0572	149,9504
27/4/2016	327,1200	334,0972	118,7863
28/4/2016	326,8000	333,7772	57,7924
29/4/2016	326,3200	333,2972	33,2767
30/4/2016	326,2800	333,2572	29,0263
1/5/2016	326,2400	333,2172	27,0199
2/5/2016	326,1200	333,0972	25,7263
3/5/2016	326,0800	333,0572	24,4679
4/5/2016	326,0600	333,0372	23,2447
5/5/2016	326,0200	332,9972	22,6463
6/5/2016	326,0200	332,9972	21,7652
7/5/2016	326,0000	332,9772	21,4759
8/5/2016	325,9800	332,9572	20,9039
9/5/2016	325,9800	332,9572	20,6212
10/5/2016	325,9800	332,9572	20,0624
11/5/2016	325,9600	332,9372	19,2407
12/5/2016	325,9200	332,8972	18,9712
13/5/2016	325,9200	332,8972	18,1759
14/5/2016	325,9100	332,8872	18,1759
15/5/2016	325,9100	332,8872	21,1888
16/5/2016	325,9800	332,9572	20,9039
17/5/2016	326,0000	332,9772	19,5124
18/5/2016	325,9800	332,9572	17,4004
19/5/2016	325,9600	332,9372	16,6447
20/5/2016	325,9400	332,9172	16,8944
21/5/2016	325,9200	332,8972	16,8944
22/5/2016	325,9200	332,8972	17,1463
23/5/2016	325,9400	332,9172	17,1463
24/5/2016	325,9200	332,8972	16,1519
25/5/2016	325,9000	332,8772	15,1927
26/5/2016	325,8800	332,8572	14,9584
27/5/2016	325,8600	332,8372	14,4964
28/5/2016	325,8600	332,8372	14,2687
29/5/2016	325,8600	332,8372	15,1927
30/5/2016	325,9200	332,8972	15,4292

31/5/2016	325,9000	332,8772	14,2687
1/6/2016	325,8800	332,8572	13,5988
2/6/2016	325,8600	332,8372	13,1632
3/6/2016	325,8400	332,8172	12,9487
4/6/2016	325,8400	332,8172	12,5263
5/6/2016	325,8000	332,7772	12,3184
6/6/2016	325,7800	332,7572	12,1127
7/6/2016	325,7800	332,7572	11,9092
8/6/2016	325,7600	332,7372	11,5088
9/6/2016	325,7600	332,7372	12,3184
10/6/2016	325,7400	332,7172	11,3119
11/6/2016	325,7400	332,7172	11,1172
12/6/2016	325,7400	332,7172	10,9247
13/6/2016	325,7200	332,6972	10,7344
14/6/2016	325,7000	332,6772	10,7344
15/6/2016	325,6800	332,6572	10,5463
16/6/2016	325,6800	332,6572	10,3604
17/6/2016	325,6800	332,6572	11,1172
18/6/2016	325,6600	332,6372	10,9247
19/6/2016	325,6400	332,6172	10,3604
20/6/2016	325,6400	332,6172	9,9952
21/6/2016	325,6200	332,5972	10,5463
22/6/2016	325,6000	332,5772	10,3604
23/6/2016	325,6000	332,5772	9,4639
24/6/2016	325,6000	332,5772	9,6388
25/6/2016	325,6000	332,5772	9,1207
26/6/2016	325,5800	332,5572	8,9524
27/6/2016	325,5400	332,5172	9,1207
28/6/2016	325,5400	332,5172	8,7863
29/6/2016	325,5200	332,4972	8,6224
30/6/2016	325,5200	332,4972	8,4607
1/7/2016	325,5000	332,4772	8,4607
2/7/2016	325,5000	332,4772	8,3012
3/7/2016	325,4800	332,4572	8,3012
4/7/2016	325,4600	332,4372	8,1439
5/7/2016	325,4200	332,3972	7,9888
6/7/2016	325,4400	332,4172	10,5463
7/7/2016	325,4600	332,4372	11,3119
8/7/2016	325,4400	332,4172	8,7863
9/7/2016	325,4200	332,3972	9,9952
10/7/2016	325,4800	332,4572	11,9092
11/7/2016	325,5000	332,4772	10,9247
12/7/2016	325,5200	332,4972	9,9952
13/7/2016	325,5000	332,4772	10,1767
14/7/2016	326,5200	333,4972	23,8519
15/7/2016	326,0800	333,0572	23,5472

16/7/2016	326,0000	332,9772	18,1759
17/7/2016	325,9800	332,9572	12,3184
18/7/2016	325,9600	332,9372	10,9247
19/7/2016	325,9200	332,8972	10,1767
20/7/2016	325,9000	332,8772	9,6388
21/7/2016	325,8800	332,8572	9,2912
22/7/2016	325,8600	332,8372	9,1207
23/7/2016	325,8400	332,8172	8,6224
24/7/2016	325,8400	332,8172	8,4607
25/7/2016	325,8000	332,7772	8,3012
26/7/2016	325,8000	332,7772	9,4639
27/7/2016	325,8600	332,8372	9,6388
28/7/2016	325,8600	332,8372	8,9524
29/7/2016	325,8400	332,8172	8,3012
30/7/2016	325,8400	332,8172	8,1439
31/7/2016	325,8400	332,8172	7,9888
1/8/2016	325,8000	332,7772	7,8359
2/8/2016	325,7800	332,7572	8,1439
3/8/2016	325,8600	332,8372	9,2912
4/8/2016	325,8800	332,8572	8,4607
5/8/2016	325,8600	332,8372	7,9888
6/8/2016	325,8400	332,8172	7,6852
7/8/2016	325,8600	332,8372	9,6388
8/8/2016	325,8400	332,8172	9,2912
9/8/2016	325,8000	332,7772	8,3012
10/8/2016	325,7800	332,7572	7,8359
11/8/2016	325,7600	332,7372	7,3904
12/8/2016	325,7400	332,7172	7,2463
13/8/2016	325,7200	332,6972	7,1044
14/8/2016	325,7200	332,6972	6,9647
15/8/2016	325,7200	332,6972	7,2463
16/8/2016	325,7800	332,7572	7,3904
17/8/2016	325,7600	332,7372	7,5367
18/8/2016	325,7200	332,6972	7,9888
19/8/2016	325,7200	332,6972	7,3904
20/8/2016	325,7000	332,6772	7,9888
21/8/2016	325,7200	332,6972	8,4607
22/8/2016	325,7600	332,7372	7,6852
23/8/2016	325,7400	332,7172	7,1044
24/8/2016	325,7200	332,6972	6,8272
25/8/2016	325,7100	332,6872	6,5588
26/8/2016	325,6800	332,6572	6,4279
27/8/2016	325,6800	332,6572	6,2992
28/8/2016	325,6600	332,6372	6,2992
29/8/2016	325,8600	332,8372	14,7263
30/8/2016	326,0200	332,9972	22,3504

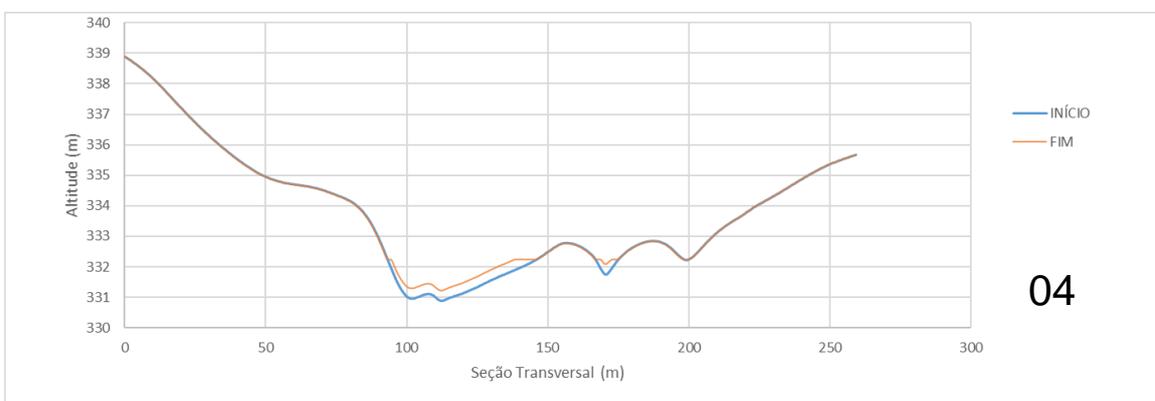
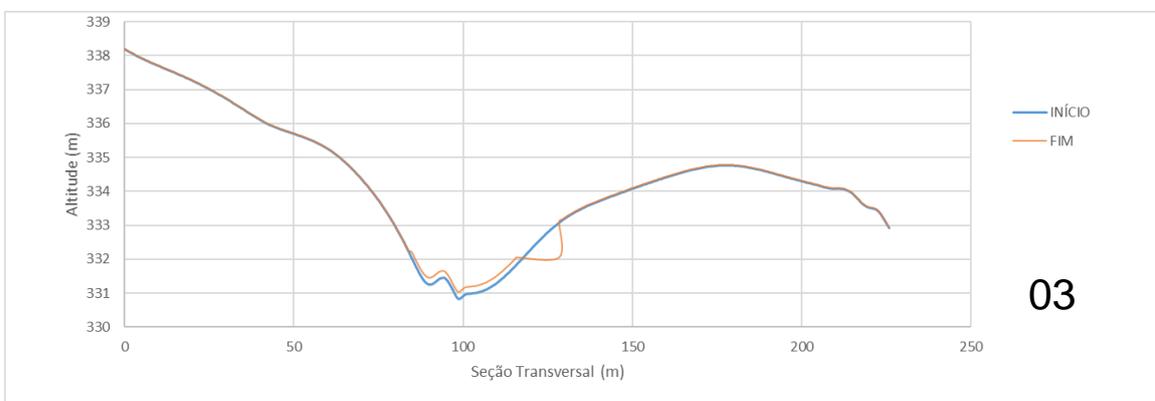
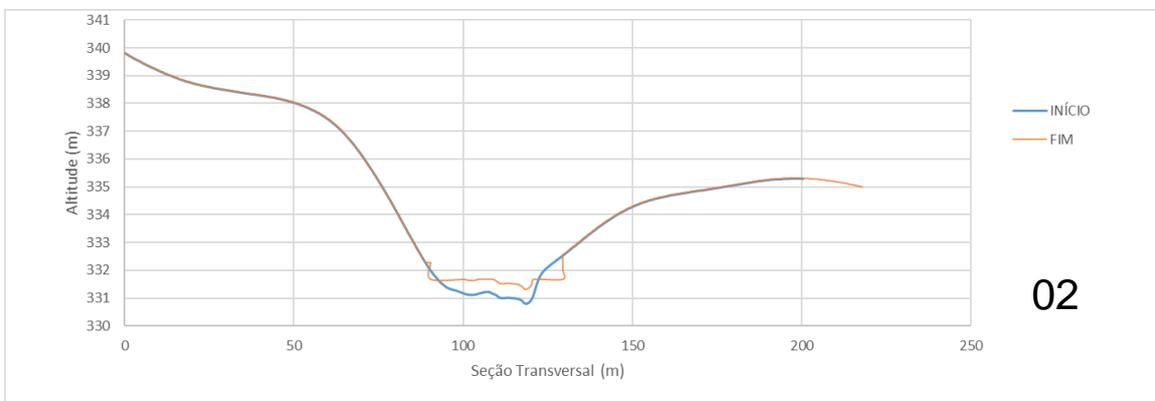
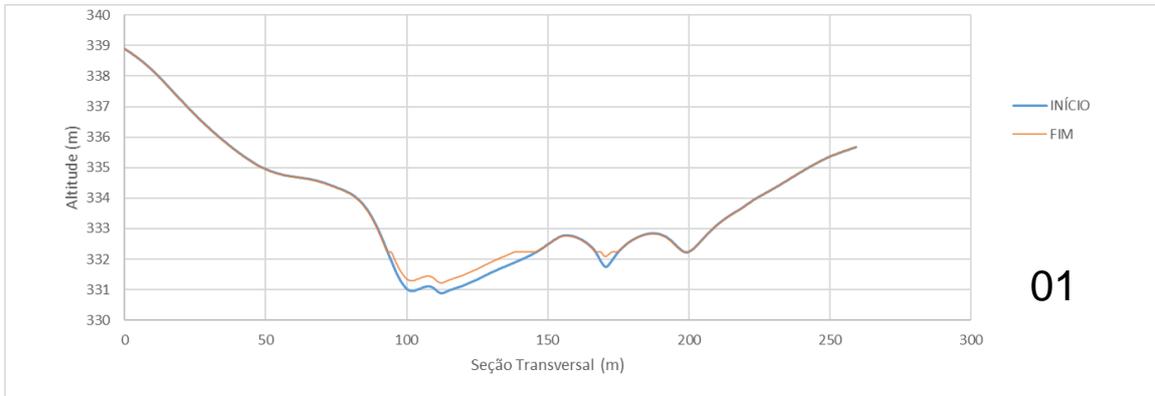
31/8/2016	326,0000	332,9772	18,9712
1/9/2016	325,9800	332,9572	13,3799
2/9/2016	325,9600	332,9372	11,1172
3/9/2016	325,9400	332,9172	10,3604
4/9/2016	326,0400	333,0172	9,9952
5/9/2016	326,0000	332,9772	10,3604
6/9/2016	326,0000	332,9772	15,1927
7/9/2016	326,0000	332,9772	14,2687
8/9/2016	325,9800	332,9572	11,3119
9/9/2016	325,9600	332,9372	10,3604
10/9/2016	325,9200	332,8972	9,6388
11/9/2016	325,8800	332,8572	8,9524
12/9/2016	325,8600	332,8372	10,5463
13/9/2016	325,8400	332,8172	9,4639
14/9/2016	325,8300	332,8072	9,4639
16/9/2016	325,8000	332,7772	8,1439
17/9/2016	325,7800	332,7572	9,8159
18/9/2016	325,7800	332,7572	9,9952
19/9/2016	325,7600	332,7372	9,8159
20/9/2016	325,7600	332,7372	7,3904
21/9/2016	325,7400	332,7172	7,2463
22/9/2016	325,7400	332,7172	7,3904
23/9/2016	325,7200	332,6972	6,8272
24/9/2016	325,7000	332,6772	6,4279
25/9/2016	325,6800	332,6572	6,4279
26/9/2016	325,6600	332,6372	6,4279
27/9/2016	325,6200	332,5972	6,0484
28/9/2016	325,6200	332,5972	5,9263
29/9/2016	325,6000	332,5772	5,6887
30/9/2016	325,5600	332,5372	5,5732
1/10/2016	325,5800	332,5572	5,3488
2/10/2016	325,5600	332,5372	5,4599
3/10/2016	325,5600	332,5372	5,5732
4/10/2016	325,5400	332,5172	5,6887
5/10/2016	325,5200	332,4972	5,8064
6/10/2016	325,5200	332,4972	7,1044
7/10/2016	325,5200	332,4972	8,7863
8/10/2016	325,5200	332,4972	6,1727
9/10/2016	325,5000	332,4772	5,6887
10/10/2016	325,4800	332,4572	5,8064
11/10/2016	325,4600	332,4372	5,6887
12/10/2016	325,4800	332,4572	7,1044
13/10/2016	325,5200	332,4972	9,4639
14/10/2016	325,5200	332,4972	8,4607
15/10/2016	325,5000	332,4772	7,1044
16/10/2016	325,5000	332,4772	7,3904

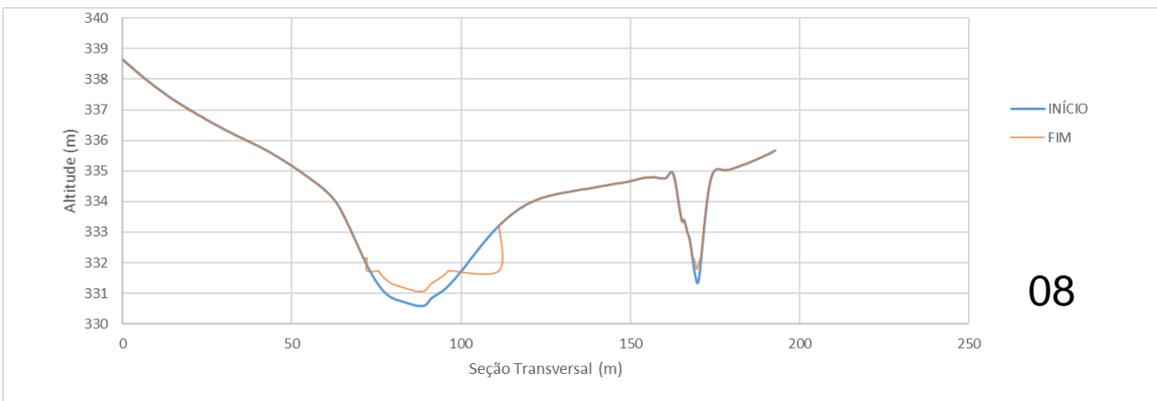
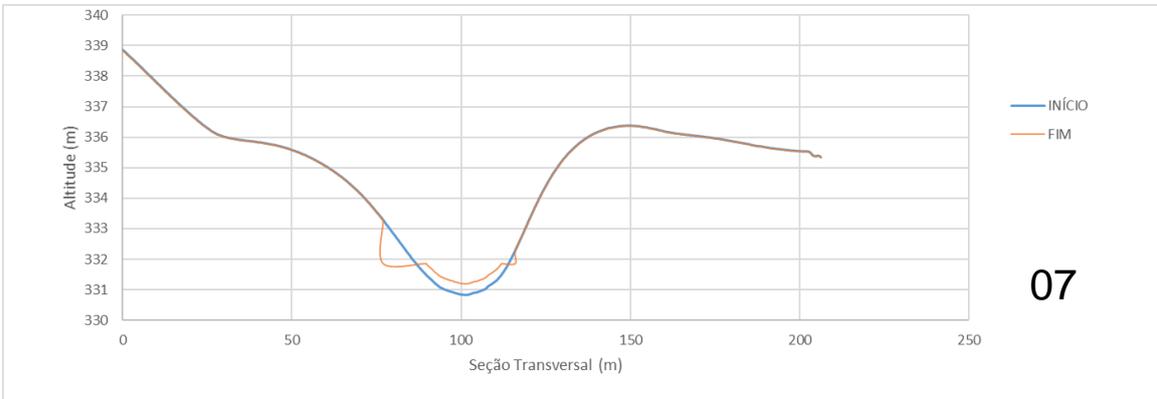
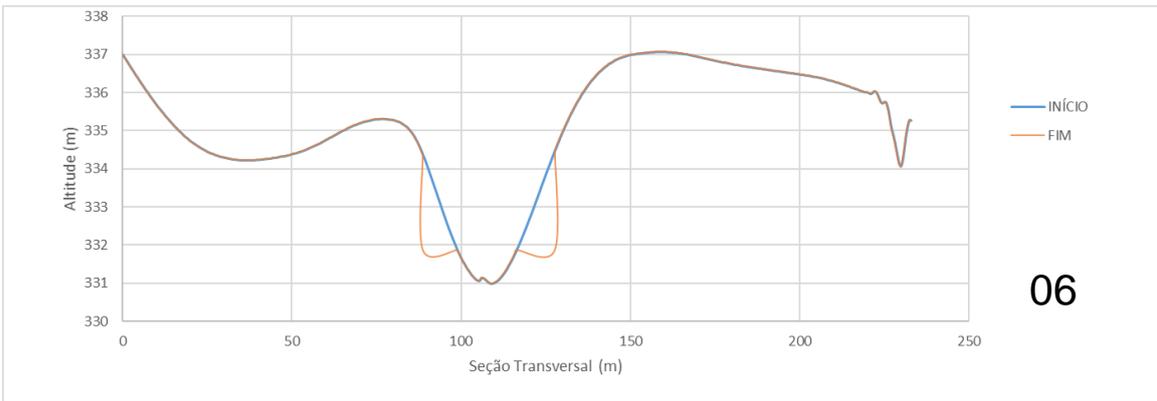
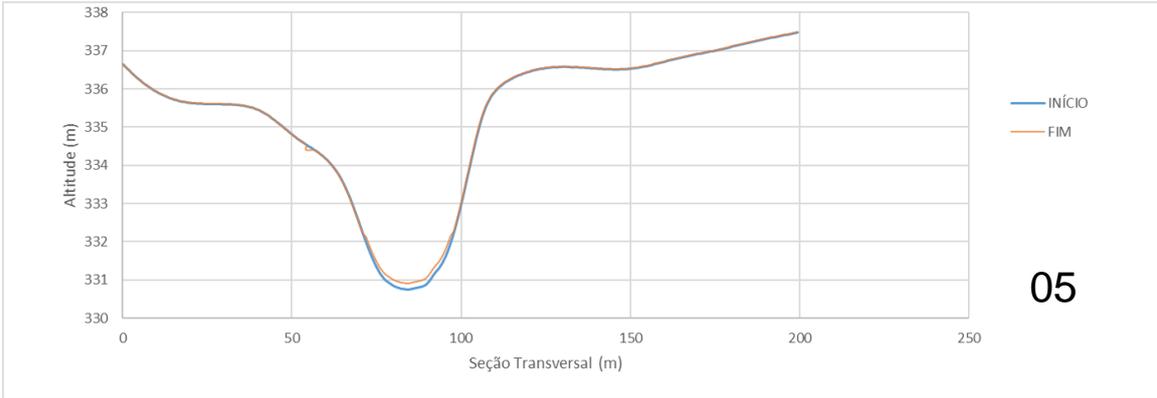
17/10/2016	325,5000	332,4772	8,3012
18/10/2016	326,5600	333,5372	37,8439
19/10/2016	326,2200	333,1972	64,3847
20/10/2016	326,5600	333,5372	67,0192
21/10/2016	326,5800	333,5572	62,3167
22/10/2016	326,5600	333,5372	21,7652
23/10/2016	326,5200	333,4972	18,4388
24/10/2016	326,5000	333,4772	16,1519
25/10/2016	326,5200	333,4972	28,0132
26/10/2016	326,5600	333,5372	29,3684
27/10/2016	326,4200	333,3972	20,3407
28/10/2016	326,3200	333,2972	17,6567
29/10/2016	326,1800	333,1572	15,9088
30/10/2016	326,0800	333,0572	14,9584
31/10/2016	326,0200	332,9972	14,4964
1/11/2016	325,9800	332,9572	14,7263
2/11/2016	326,2200	333,1972	44,8564
3/11/2016	326,3200	333,2972	42,7279
4/11/2016	326,2800	333,2572	30,0592
5/11/2016	326,2400	333,2172	22,3504
6/11/2016	326,2200	333,1972	20,0624
7/11/2016	326,1800	333,1572	18,9712
8/11/2016	326,1600	333,1372	18,1759
9/11/2016	326,1800	333,1572	24,7792
10/11/2016	326,1600	333,1372	25,0927
11/11/2016	326,1400	333,1172	21,1888
12/11/2016	326,1200	333,0972	18,9712
13/11/2016	326,1000	333,0772	17,9152
14/11/2016	326,0600	333,0372	17,4004
15/11/2016	326,0000	332,9772	17,1463
16/11/2016	326,0000	332,9772	18,9712
17/11/2016	326,0200	332,9972	18,1759
18/11/2016	326,0000	332,9772	17,1463
19/11/2016	325,9600	332,9372	16,1519
20/11/2016	325,9400	332,9172	15,4292
21/11/2016	325,9200	332,8972	14,9584
22/11/2016	325,9200	332,8972	14,2687
23/11/2016	325,9000	332,8772	14,0432
24/11/2016	325,9000	332,8772	13,3799
25/11/2016	325,9000	332,8772	15,1927
26/11/2016	325,9200	332,8972	14,9584
27/11/2016	325,9000	332,8772	14,2687
28/11/2016	325,9200	332,8972	14,7263
29/11/2016	325,9200	332,8972	14,0432
30/11/2016	325,9000	332,8772	12,9487
1/12/2016	325,9000	332,8772	12,1127

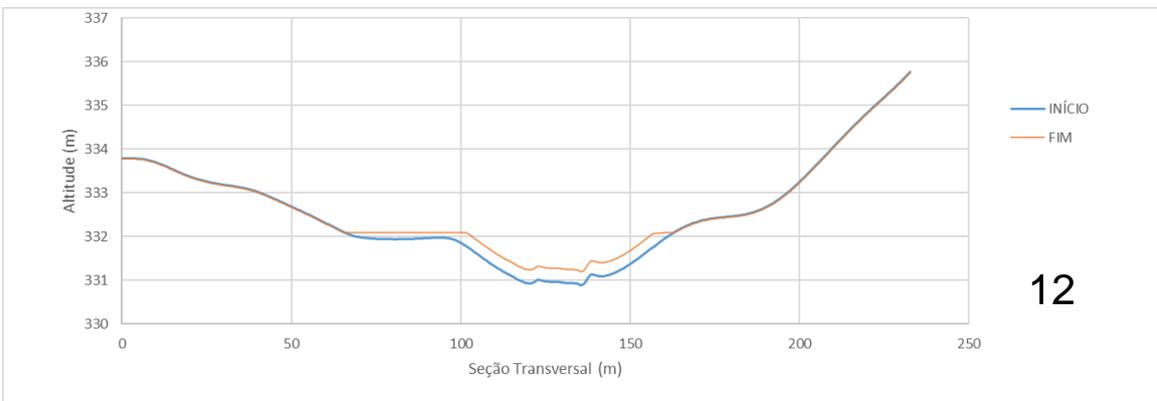
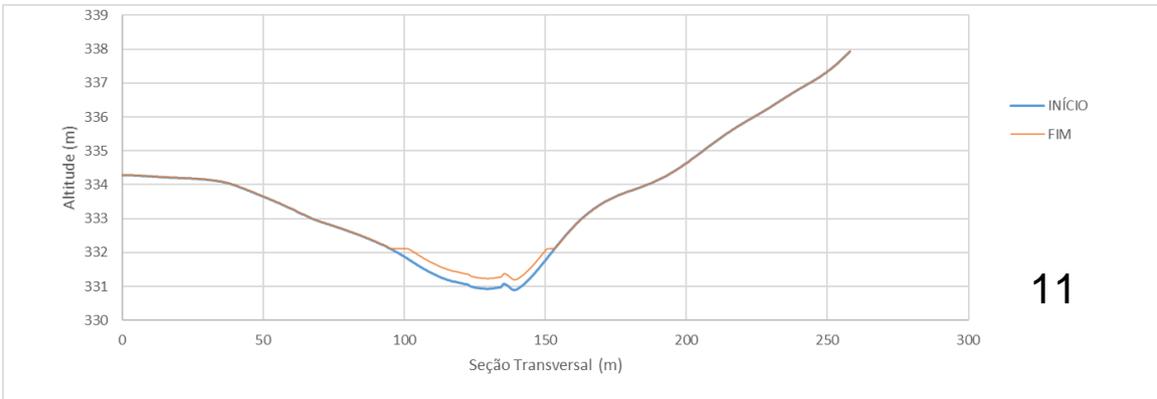
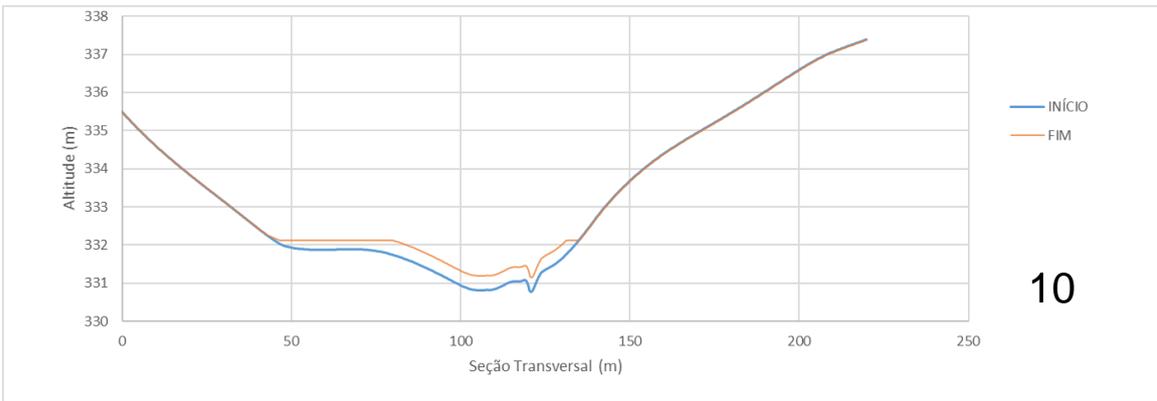
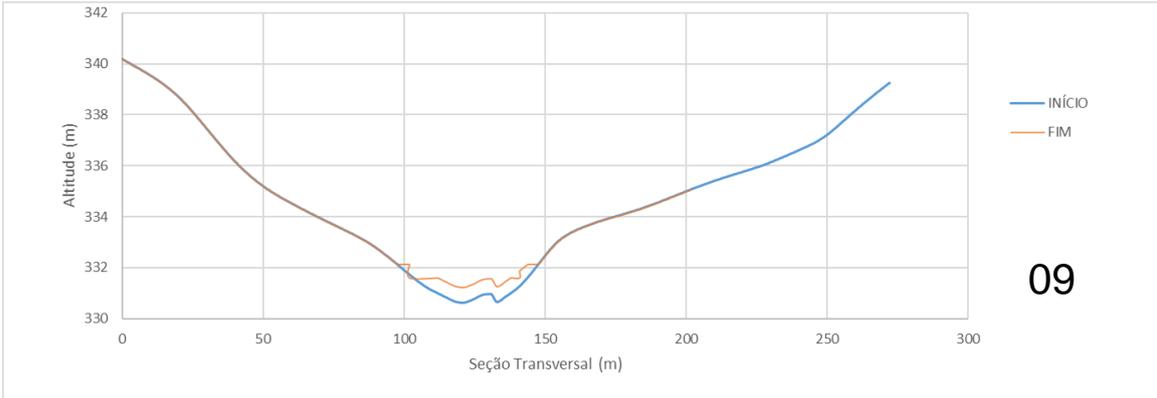
2/12/2016	325,8800	332,8572	11,7079
3/12/2016	325,8800	332,8572	12,1127
4/12/2016	325,8600	332,8372	13,3799
5/12/2016	325,8600	332,8372	12,7364
6/12/2016	325,9000	332,8772	11,7079
7/12/2016	325,8800	332,8572	11,1172
8/12/2016	325,8600	332,8372	11,1172
9/12/2016	325,8400	332,8172	10,5463
10/12/2016	325,8400	332,8172	10,3604
11/12/2016	325,8000	332,7772	10,1767
12/12/2016	325,7800	332,7572	9,9952
13/12/2016	325,7800	332,7572	9,4639
14/12/2016	325,7600	332,7372	8,7863
15/12/2016	325,7600	332,7372	10,5463
16/12/2016	325,7200	332,6972	9,9952
17/12/2016	325,7200	332,6972	10,3604
18/12/2016	325,7200	332,6972	11,9092
19/12/2016	325,9800	332,9572	12,9487
20/12/2016	325,9400	332,9172	11,1172
21/12/2016	325,9200	332,8972	9,9952
22/12/2016	325,9200	332,8972	9,4639
23/12/2016	325,9200	332,8972	8,9524
24/12/2016	325,9200	332,8972	9,1207
25/12/2016	325,9200	332,8972	8,9524
26/12/2016	325,9000	332,8772	7,9888
27/12/2016	325,9000	332,8772	8,1439
28/12/2016	325,8800	332,8572	10,9247
29/12/2016	325,9200	332,8972	13,8199

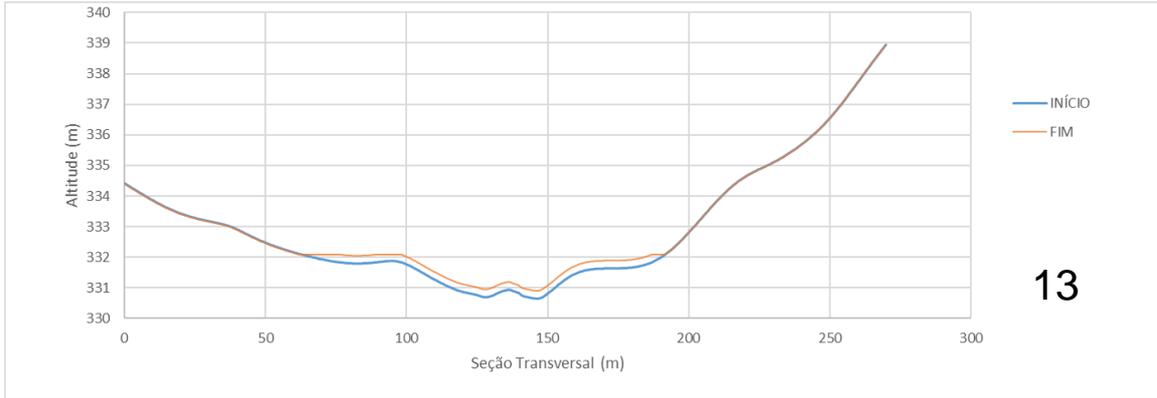
Fonte: Projeto SEDIRESERV

Apêndice F. Seções transversais de montante (Posto Fluviométrico) a jusante (Barragem Andorinhas Jusante) com as variações do depósito de leito de acordo com a batimetria de 2015 (início-azul) e modelo de depósito de leito gerado pelo HEC-RAS (fim-laranja).

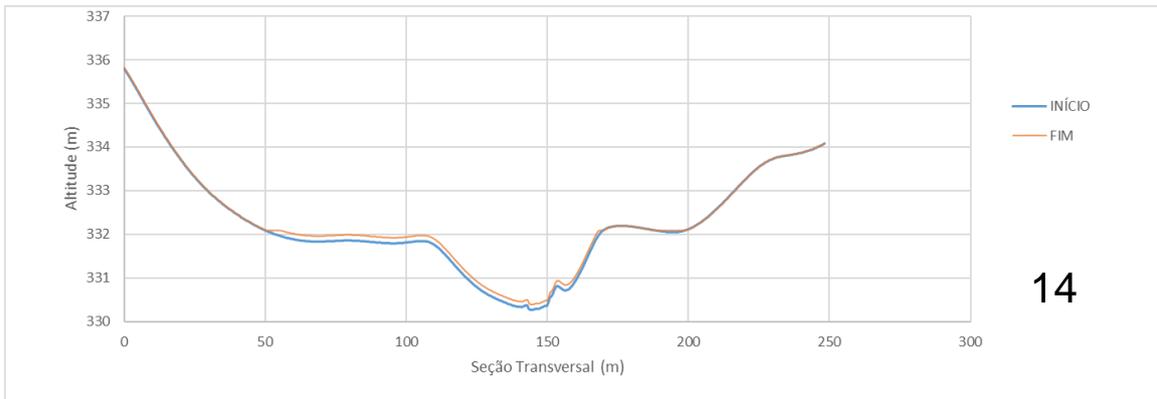




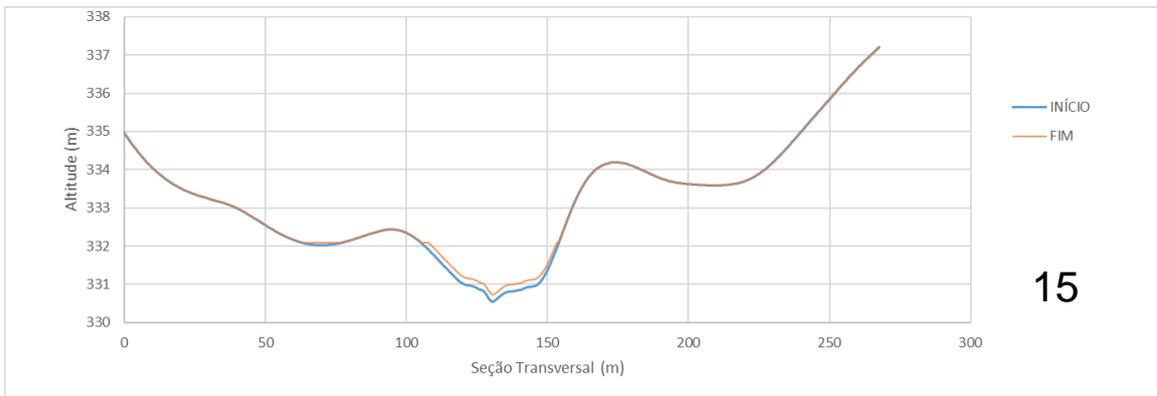




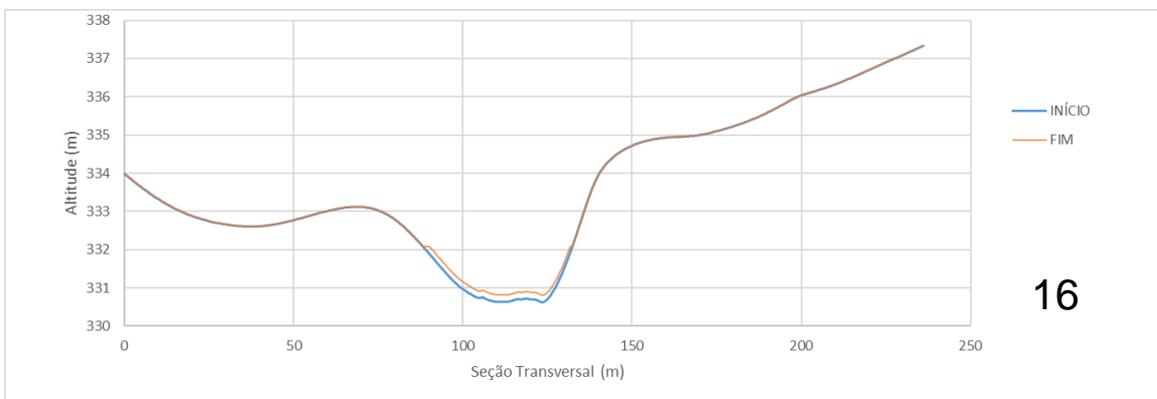
13



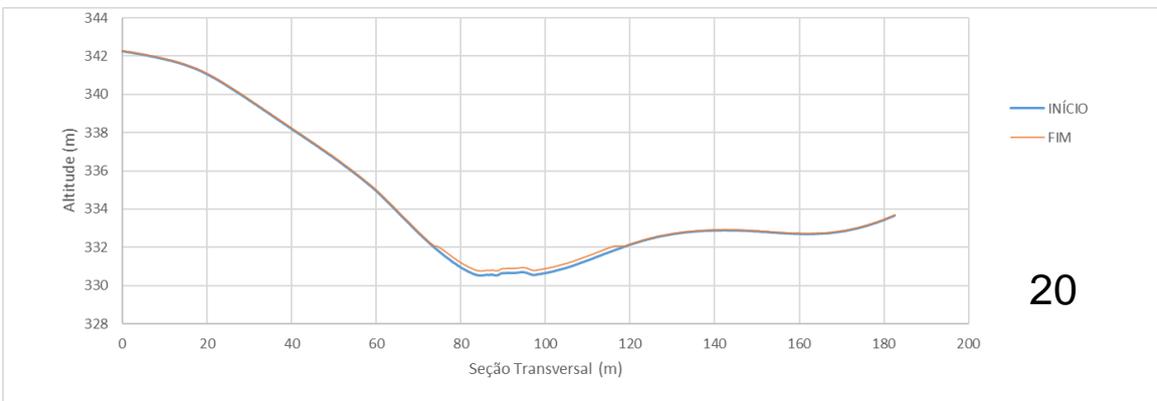
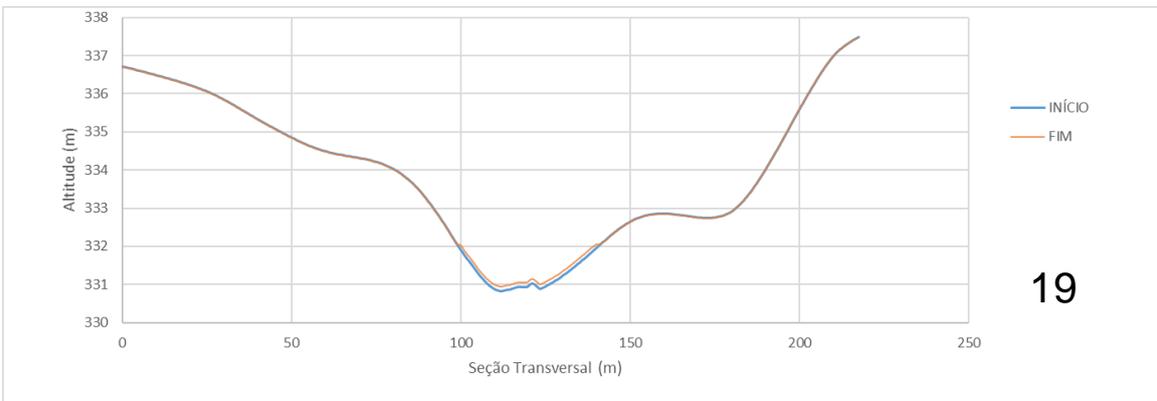
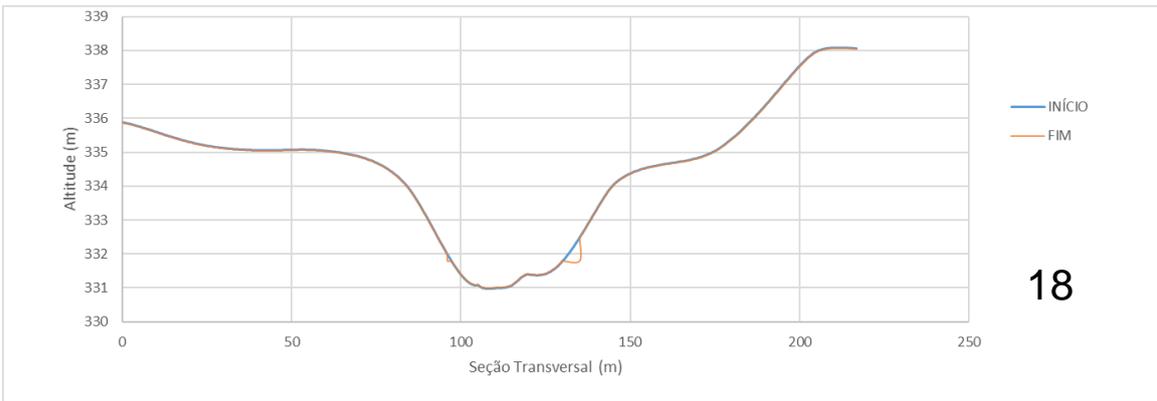
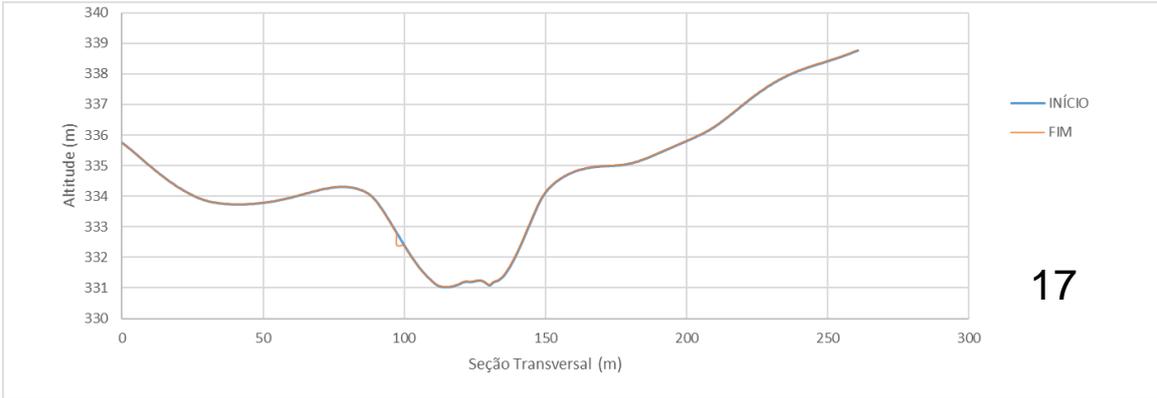
14

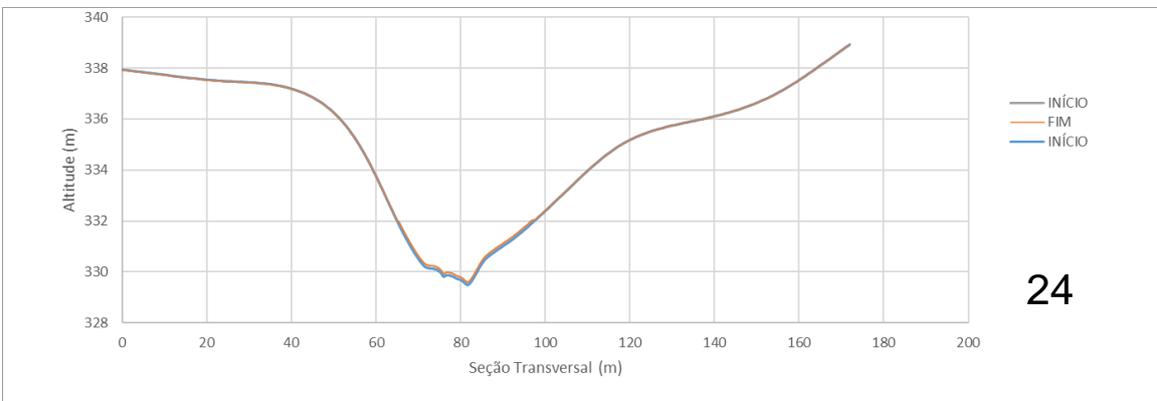
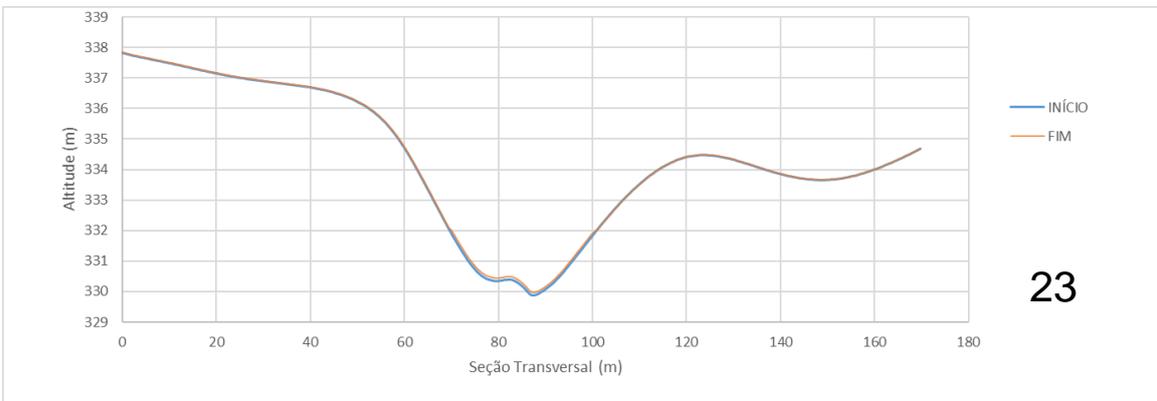
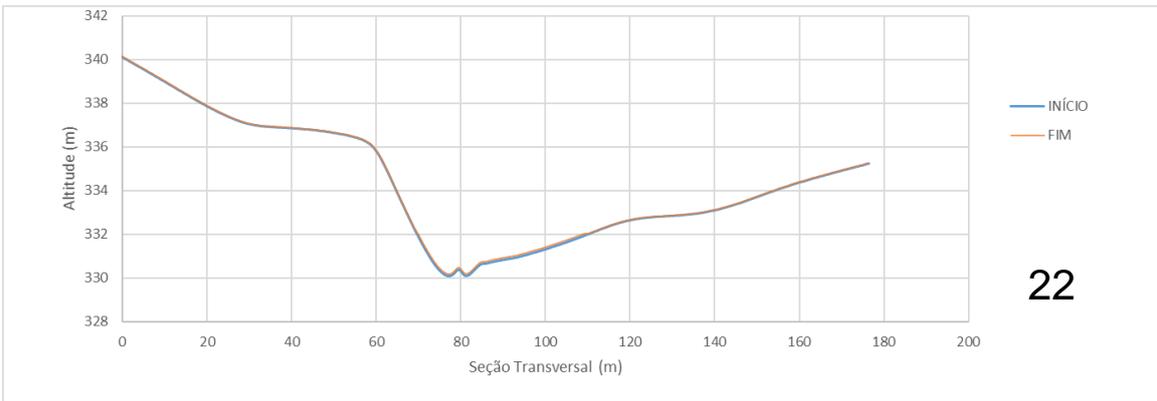
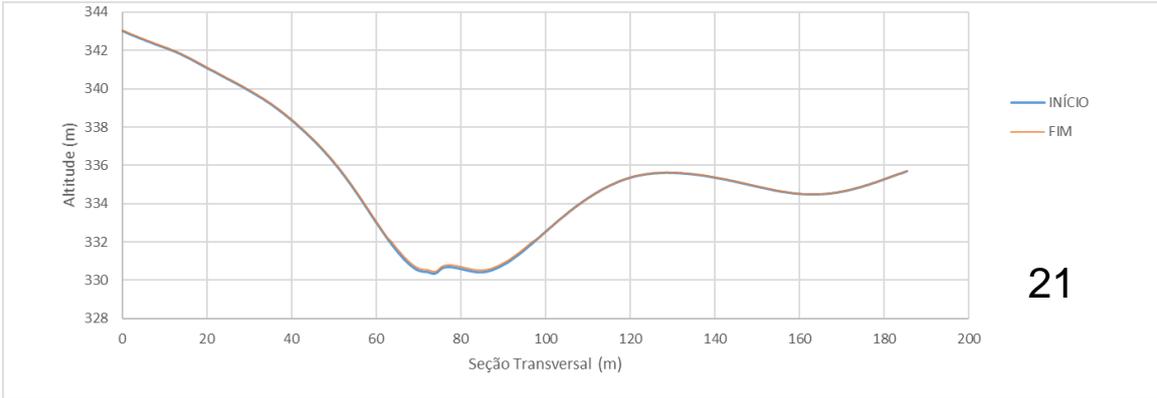


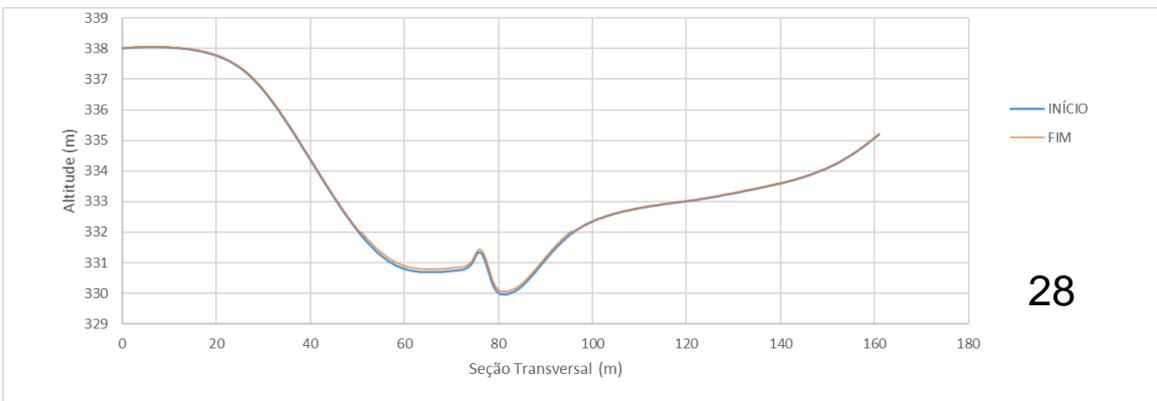
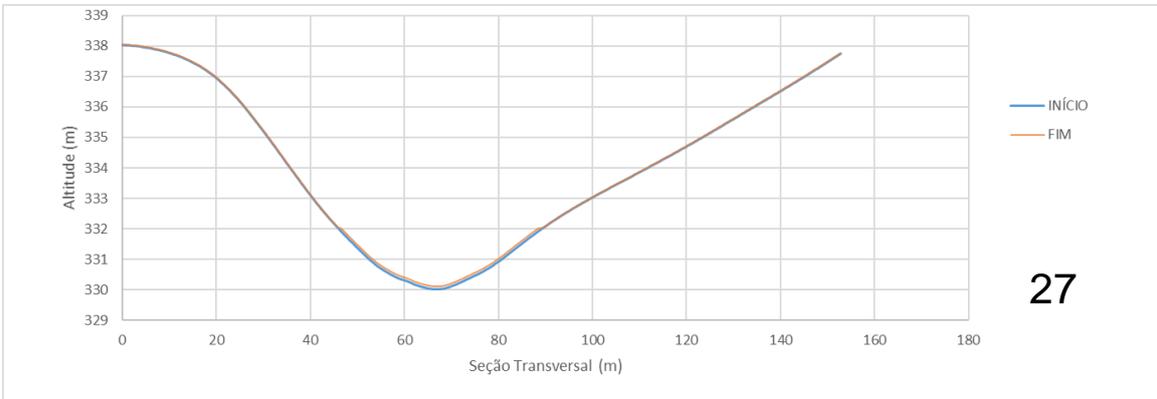
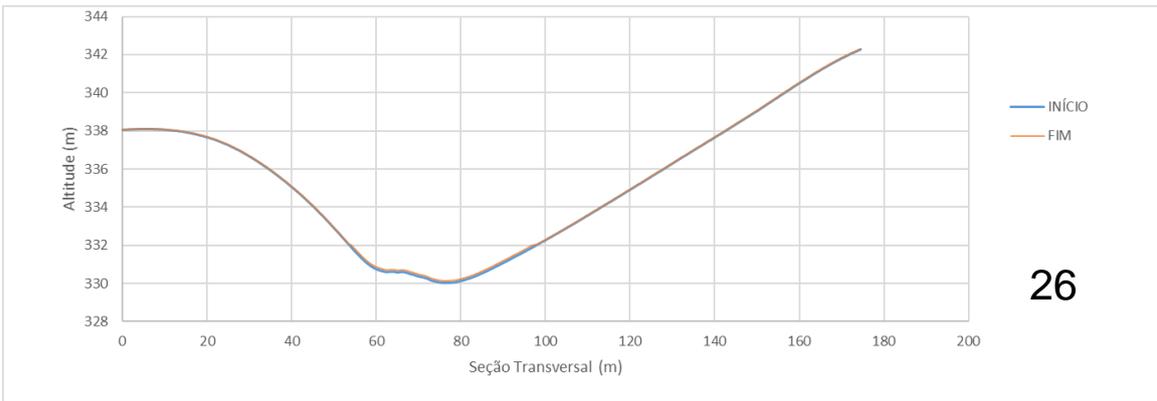
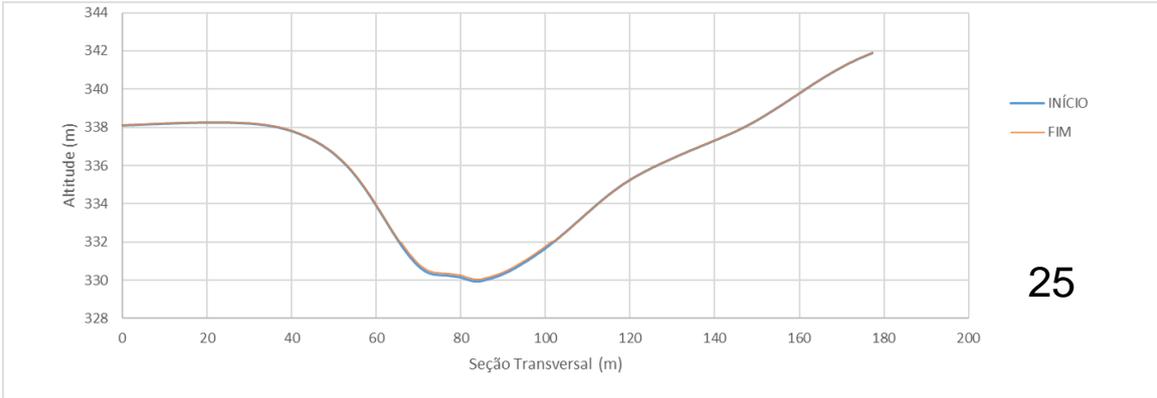
15

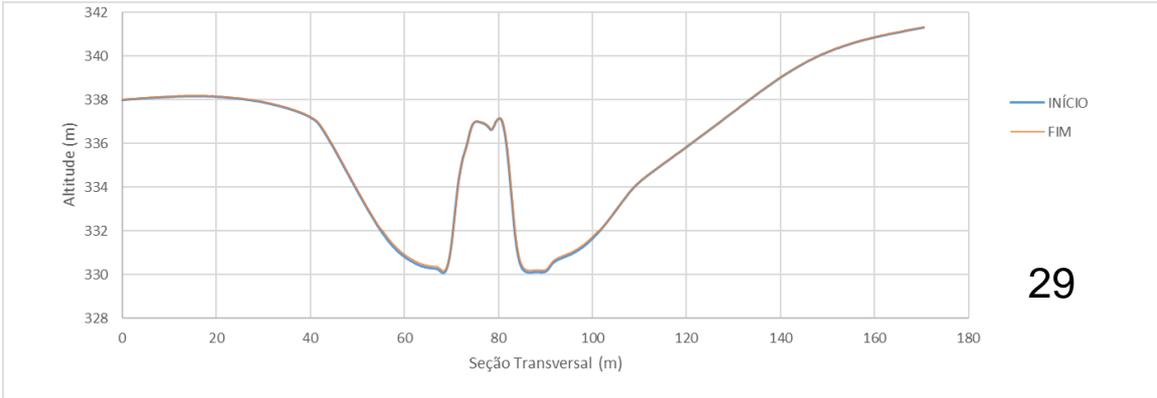


16

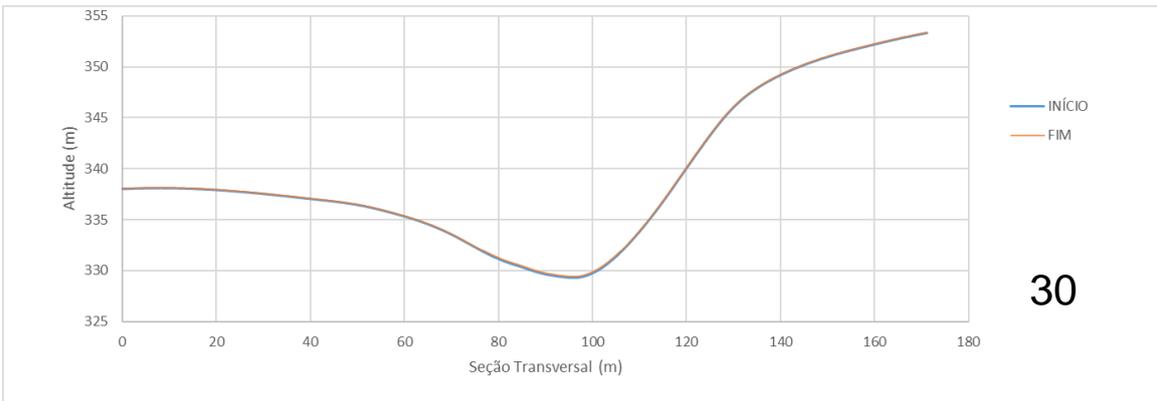




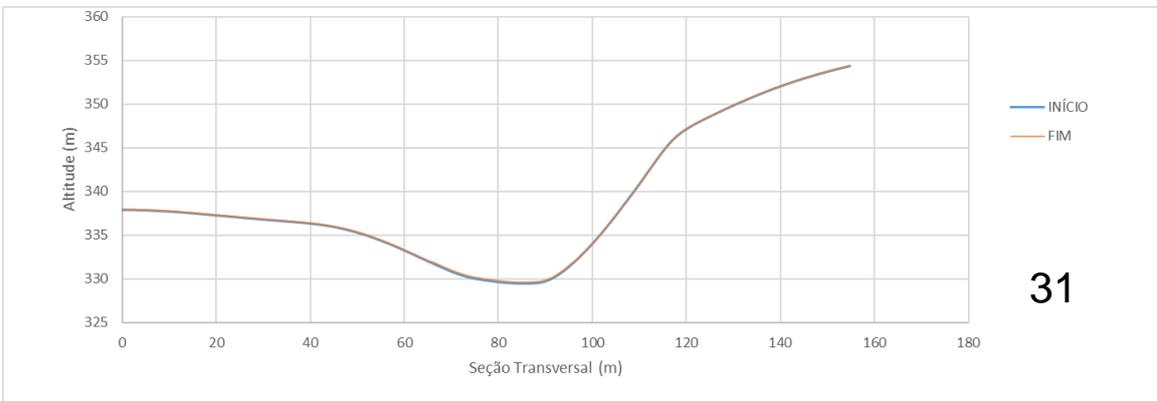




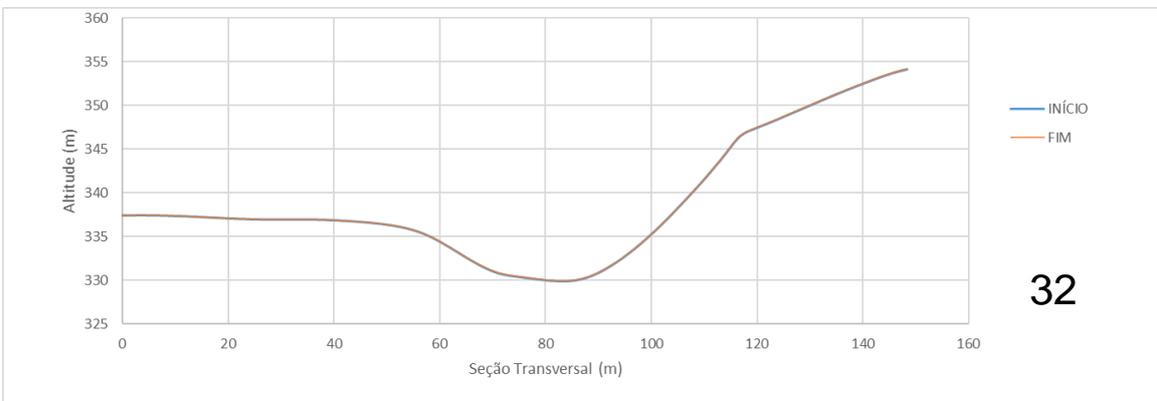
29



30



31



32

