META 3 – SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS

Modelo Batimétrico 3D do Rio Caveiras no Trecho da Planície de Inundação

HIDRO LAGES

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA – EVTA

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE LAGES

Defesa Civil

Universidade do Estado de Santa Catarina

Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV

COORDENAÇÃO GERAL
Sílvio Luís Rafaeli Neto - ART 6772660-6

SECRETARIA
Jussara Ribeiro dos Reis

PROGRAMAÇÃO VISUAL
Sílvio Luís Rafaeli Neto

TEXTO
Guilherme da Silva Ricardo

MAPAS
Guilherme da Silva Ricardo
Dayane Macedo Medeiros

RESPONSÁVEL TÉCNICO
Raquel Valério de Souza - ART 6772660-6

EQUIPE TÉCNICA
Guilherme da Silva Ricardo
Henrique Richetti Caron
Bruno Álvaro Schina

INSTITUIÇÕES PARCEIRAS

5º BBMSC Corpo de Bombeiros Militar de Lages/SC
Capitão Ivonilson Varela Duarte
3° Sargento Maicon da Silva Ataide
Soldado Robson Luiz Zonato Junior
Soldado Diego Moreira

5º Pelotão Guarnição Polícia Militar Ambiental de Lages/SC
Capitão Marco Antônio Marafon Júnior
Sargento Edson Oliveira Dias
Sargento Alexandre Rodolfo
Soldado William Fernando Antunes

M587

Meta 3 – Seções topobatimétricos: modelo batimétrico 3D do rio caveiras no trecho da planície de inundação / coordenação Sílvio Luís Rafaeli Neto. – Lages : Udesc/CAV, 2019.
23 p. : il. ; color.

Projeto Hidro-Lages é uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Lages e a Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias.

1. Controle de inundações - Lages. 2. Representação topográfica. 3. Bacias Hidrográficas. I. Neto, Sílvio Luís Rafaeli.

CDD 20. ed. – 551.48

Ficha elaborada pela bibliotecária Marli Andreola CRB 14/1170

SUMÁRIO

1 Apresentação 7
2 Os perfis topobatimétricos 10
2.1 O perfilamento transversal 11
2.2 O sistema de referência planialtimétrico e os métodos de coleta e de processamento de dados 12
2.3 As alturas ortométricas dos pontos medidos 16
3 O modelo batimétrico 3D do rio caveiras no trecho da planície de inundação 17
4 Qualidade do MDT de Santa Catarina no trecho levantado 17
5 Características genéticas e morfológicas do trecho do Rio Caveiras na planície topográfica de inundações 21
6 Bibliografia 23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação topográfica por meio do Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de confluência dos rios Carahá e Caveiras. 9
Figura 2 – Representação por meio do Ortofotográfias Aéreas Digitais da área de confluência dos rios Carahá e Caveiras. 9
Figura 3 – Representação conceitual da seção transversal do trecho da calha de um rio com indicação do Nível da Água (NA). 10
Figura 4 – Instalação e configuração do receptor base em modo RTK em um ponto de base, com uso de rádio externo. 13
Figura 5 – Coleta de dados topobatimétricos na margem do canal. 14
Figura 6 – Coleta de dados topobatimétricos no centro do canal. 14
Figura 7 – Coleta de dados topobatimétricos na margem do canal, com uso de haste telescópica, sob vegetação. 15
Figura 8 – Coleta de dados topobatimétricos em trecho raso do rio Caveiras. 15
Figura 9 – Coleta de dados topobatimétricos na área preenchida com água do canal com uso de haste telescópica e embarcação. 16
Figura 10 – Diagrama de dispersão das altitudes ortométricas medidas a campo e extraídas do MDT de Santa Catarina. 18
Figura 10 – Histograma dos resíduos. 18
Figura 12 – Perfil topobatimétrico e perfil MDT-SC (SDS, 2013). 19
Figura 13 – Perfil topobatimétrico e perfil MDT-SC (SDS, 2013). 19
Figura 14 - Trecho do Rio Caveiras representados no MDT original de (SDS, 2013). 20
Figura 15 - Trecho do Rio Caveiras representados no MDT original de (SDS, 2013), onde se aplicou o modelo topobatimétrico 3D. 20
Figura 16 – Trecho do Rio Caveiras onde os levantamentos topobatimétricos foram realizados. 21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datas das campanhas de campo e entidades apoiadoras. 11
Tabela 2 – Coordenadas das bases utilizadas no levantamento topobatimétrico. 12
Tabela 3 – Principais equipamentos utilizados nas campanhas de campo para levantamentos topobatimetricos. 13
Tabela 4 - Estatísticas descritivas dos resíduos das alturas observadas a campo e no MDT de Santa Catarina. 18
Tabela 5 - Parâmetros morfométricos do trecho da planície topográfica de inundações. 22
Tabela 5 - Classes de sinuosidade para cursos d´água. 22

Por Guilherme da Silva Ricardo

1 Apresentação

A topobatimetria do Rio Caveiras no trecho da sua planície inundável representa uma etapa do projeto Hidro-Lages (NETO, 2019)[1], cujo objetivo principal é avaliar cenários de medidas estruturais, com vistas à mitigação e controle dos impactos das inundações no município de Lages/SC.

As inundações que ocorrem em Lages estão diretamente relacionadas com o Rio Caveiras e sua planície inundável, que compreende áreas urbanas e rurais do município. Segundo a Defesa Civil municipal, a área localizada na região de confluência dos rios Caveiras e Carahá, denominada de SC LA SR 03, possuí alto potencial para ser impactada por inundações, justificado por sua localização na junção dos rios e condição topográfica plana.

A planície inundável do Rio Caveiras é formada pela calha do rio e pelas áreas topograficamente planas distribuídas nas suas margens direta e esquerda. Em eventos hidrológicos extremos com períodos curtos de chuva intensa e/ou longos de chuva persistente, a planície inundável do Rio Caveiras, que representa um grande reservatório natural, passa a receber e reservar volumes significativos de água. A maior parte destes volumes é proveniente das Unidades Hidrológicas (UHs) Caveiras Montante 2, UDESC Painel e Pedras Brancas, localizadas a montante da cidade de Lages [(NETO, 2019)[2], (NETO, 2019)[3]]. Estes volumes impactam gradativamente regiões rurais e urbanas de Lages, pelo fenômeno natural de inundação pelo aumento do nível da água, durante uma enchente.

A solução dos problemas relacionados com as inundações, alagamento e enxurradas em Lages, ou em qualquer cidade do mundo, requer coleta de dados primários na área objeto de análise. Quanto mais precisos e detalhados são os dados sobre o problema,

[1] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 1 - Estudos e concepções : relatório das concepções hidrológicas**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 45 p. Projeto Hidro-Lages.

[2] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 2 - Estudo hidrológico : relatório técnico - parte 1 - modelagem hidrológica.** Lages: UDESC/CAV, 2019. 54 p. Projeto Hidro-Lages.

[3] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 2 - Estudo hidrológico : relatório técnico - parte 2 - volumes e tempos de recorrência.** Lages: UDESC/CAV, 2019. 70 p. Projeto Hidro-Lages.

mais qualificado é o conhecimento sobre as variáveis relacionadas com o problema e maior a possibilidade de se obter uma solução ótima ou satisfatória.

O relevo é uma variável relevante na análise do problema de inundações, uma vez que o comportamento do fluxo de massa e energia sobre a superfície está fortemente condicionado às características de conformação desta superfície. Este comportamento pode ser simulado por meio de recursos computacionais, que implementam modelos de representação. Assim, o relevo é representado por Modelos Digitais de Terreno (MDT) e o fluxo de massa ou energia por modelos hidrodinâmicos.

Os MDTs são representações tridimensionais da superfície topográfica e os modelos hidrodinâmicos são representações formais da transferência de água sobre esta superfície. Quanto maior o detalhamento da superfície topográfica, mais representativos e confiáveis serão os resultados das simulações realizadas pelos modelos hidrodinâmicos. Assim, o MDT da área objeto de estudo deve estar suficientemente detalhado a ponto de serem identificas as principais entidades geográficas, tais como calhas dos rios e as planícies de inundações. A geometria do perfil transversal dos canais deve estar configurada o mais próximo da realidade, seja a calha propriamente dita, sejam as superfícies topográficas laterais representadas pelos taludes.

O escopo deste trabalho está limitado ao uso do MDT produzido pelo Estado de Santa Catarina (SDS, 2013). Este MDT foi finalizado no fim do ano de 2012 e resulta do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina iniciado em 2010. Os produtos deste levantamento trouxeram uma atualização cartográfica do estado e são válidos até os dias atuais. Estes produtos abriram inúmeras possibilidades de aplicações com destaque para planos diretores municipais, planos de bacias hidrográficas, planos de combate aos desastres naturais, políticas ambientais, planos ambientais integrados, plano estadual de recursos hídricos, planos de territorialidade para saúde e segurança pública, regularização fundiária, cadastro ambiental rural, planejamento e investimento em infraestrutura, entre outros.

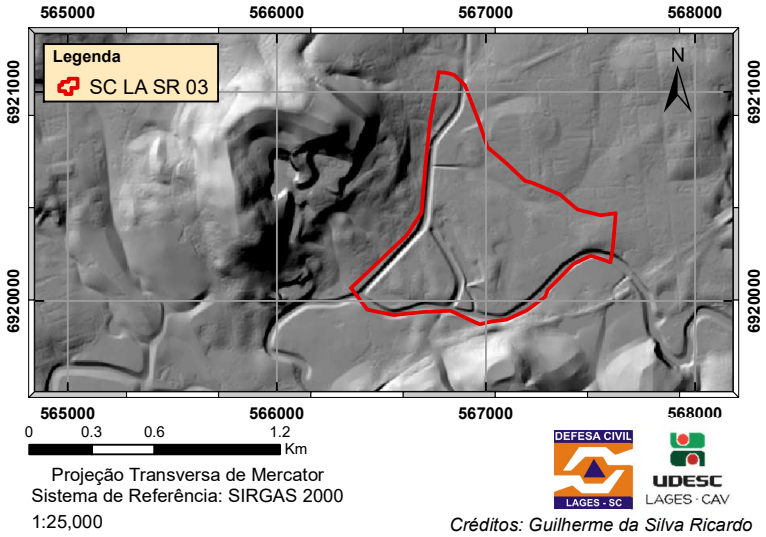
A Figura 1 ilustra o Modelo Digital de Terreno (MDT) para a região da confluência do Rio Caveiras e Carahá no município de Lages/SC onde está localizado o setor SC LA SR 03. No MDT pode-se identificar as representações das calhas dos rios Caveiras e Carahá, das áreas planas ao entorno destes cursos d'água e áreas elevadas com destaque para o Morro da Cruz.

A Figura 2 ilustra as Ortofotografias Aéreas Digitais da mesma área, onde se pode identificar a área urbana, áreas vegetadas e remanescentes de vegetação nativa, entre outros usos da terra. A escala nominal destes produtos é 1:5.000, para a qual as resoluções espaciais do MDT e ortofotos são de 1m e 0,3m, respectivamente.

Embora a representação topográfica do MDT de (SDS, 2013) possa ser considerada excelente para inúmeras aplicações, para fins de representação do comportamento hidrodinâmico de canais e zonas inundáveis necessita de um melhor detalhamento destes lugares, principalmente nos seus trechos mais profundos. As

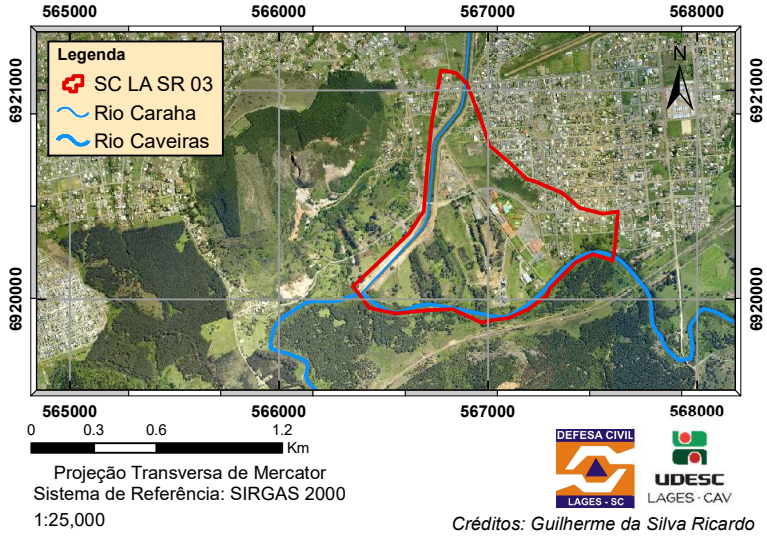
superfícies batimétricas dos rios não estão contempladas neste MDT, devido à limitação dos dados de superfície terem sido obtidos por imageamento aerofotogramétrico. Este método coleta dados da superfície visível e ignora as informações não visíveis, como superfícies batimétricas e superfícies sob vegetação densa.

Figura 1 – Representação topográfica por meio do Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de confluência dos rios Carahá e Caveiras.



Fonte: O autor.

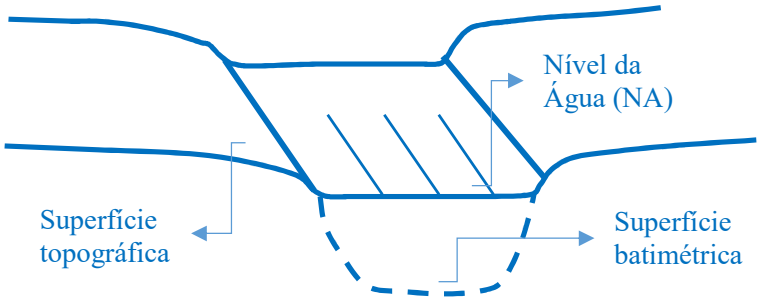
Figura 2 – Representação por meio do Ortofotográfias Aéreas Digitais da área de confluência dos rios Carahá e Caveiras.



Fonte: O autor.

Quando se tratam das superfícies sob vegetação, o método aplica interpolação a partir dos pontos visíveis mais próximos daquilo que se poderia considerar como superfície de terreno, o que geralmente implica em grandes erros altimétricos. Esta limitação está presente em praticamente toda a extensão da calha do Rio Caveiras, numa extensão aproximada de 47,5km, no trecho da planície topográfica de inundações.

Figura 3 – Representação conceitual da seção transversal do trecho da calha de um rio com indicação do Nível da Água (NA).



Fonte: O autor.

A ausência da superfície batimétrica no MDT deve interferir nos resultados das simulações hidrodinâmicas. Os volumes de água que deveriam ser armazenados na superfície submersa da calha do rio não são computados no processo de modelagem, o que pode superestimar a superfície de inundação simulada pelo modelo hidrodinâmico. Esta possibilidade é tanto maior, quanto maior a profundidade ignorada pelo MDT.

A Meta 3 – Seções Topobatimétricas tem por objetivo produzir um modelo tridimensional da superfície topográfica adjacente ao canal do Rio Caveiras e de sua calha. O método consistiu em interpolar, no sentido longitudinal do rio, dados obtidos a campo de seções transversais. Estes dados foram coletados com receptores[4] GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), em modo RTK (*Real Time Kinematic*), utilizando bases geodésicas locais, pós-processadas pelo método PPP, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As coletas foram realizadas por meio de campanhas planejadas de campo. Trecho do rio foi navegado em cada campanha, tendo-se o suporte logístico e operacional do Corpo de Bombeiros de Santa Catarina ou da Polícia Militar Ambiental de Santa Catarina, sediados em Lages.

Um total de 100 seções transversais, no trecho da sua planície topográfica, foram levantadas a campo, em uma extensão percorrida de 47,5km. Os deslocamentos entre seções foram realizados por navegação em embarcações pertencentes às instituições de apoio ou à própria UDESC.

2 Os perfis topobatimétricos

Batimetria pode ser definida como o estudo da continuidade do relevo submerso (Martins, 2013). O relevo pode estar submerso no mar, nos lagos ou em rios. Diversos métodos podem ser empregados para o seu levantamento. No caso de rios, a prática comum consiste no levantamento de seções transversais ao longo do seu perfil longitudinal. Essas seções são locais escolhidos onde são coletadas amostras do relevo submerso. Essas amostras são compostas por pontos distribuídos ao longo da seção. Coletam-se as coordenadas tridimensionais desses pontos a fim de se obter uma representação da seção verdadeira. O conjunto de seções transversais compõe o conjunto de amostras do trecho de interesse.

[4] Equipamento TOPCON, modelo GR-3, capaz de rastrear as constelações GPS e GLONASS. Programa TOPCON Tools e TOPCON Link. Todos pertencentes ao Laboratório de Geocomputação do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da UDESC/Lages.

2.1 O perfilamento transversal

Os pontos que compõem uma seção são referenciados a um sistema de referência geográfica. Inicia-se a coleta em uma das margens, passa-se para a calha do rio com água e finaliza-se na margem oposta. O levantamento é topobatimétrico quando a amostragem avança para as áreas adjacentes, não submersas.

O número de pontos de um perfil topobatimetrico é variável conforme as variações do relevo. A quantidade de pontos deve ser suficiente para representar a variação topográfica do terreno nas margens do canal e no trecho submerso. Um total de 730 pontos foram amostrados em 100 perfis transversais, sendo 408 em terra e 322 submersos na calha do rio.

Os perfis foram levantados durante oito campanhas de campo, com investidas de um dia ou dois dias consecutivos. As campanhas de campo seguiram roteiros previamente planejados e protocolos de controle de qualidade bem definidos. Organizavam-se os equipamentos e planejava-se a campanha, com até três dias de antecedência de sua realização.

Totalizaram oito campanhas de campo com doze dias efetivos de atividades. Com exceção da primeira campanha, todas as demais foram realizadas com apoio das instituições: 5° Batalhão de Bombeiros Militares de Lages e/ou 5º Pelotão Guarnição Polícia Militar Ambiental de Lages conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Datas das campanhas de campo e entidades apoiadoras.

Campanha	Data	Entidade apoiadora
1	14/02/2019	-
2	27/02/2019 28/02/2019	5° Batalhão Bombeiros Militar de Lages
3	08/03/2019 09/03/2019	5° Batalhão Bombeiros Militar de Lages
4	20/03/2019 21/03/2019	5° Batalhão Bombeiros Militar de Lages 5º Pelotão Guarnição Polícia Militar Ambiental de Lages
5	03/05/2019 04/05/2019	5° Batalhão Bombeiros Militar de Lages
6	16/05/2019	5° Batalhão Bombeiros Militar de Lages
7	18/05/2019	5° Batalhão Bombeiros Militar de Lages
8	22/05/2019	5º Pelotão Guarnição Polícia Militar Ambiental de Lages

Fonte: O autor.

As atividades nas campanhas de campo consistiram, na navegação do Rio Caveiras de montante para jusante, com paradas para levantamentos topobatimétricos das seções transversais do rio previamente planejadas. As paradas foram planejadas para ocorrerem a cada 500m, para trechos retilíneos e a cada 300m para trechos sinuosos, tendo como prioridade a realização de perfis em pontos de mudanças de direção do curso do rio, ou seja, em curvas abertas ou fechadas. O apoio das entidades citadas foi fundamental

para a realização das atividades em campo, devido a utilização de grande quantidade de equipamentos, incluindo uma embarcação a motor, e pela necessidade de segurança da equipe técnica executora.

O mapa do conjunto de perfis topobatimétricos levantados ao longo do Rio Caveiras, no trecho da planície topográfica de inundações pode ser observado no Anexo 1. Este é um dos produtos da Meta 3 – Seções Topobatimétricas do projeto Hidro-Lages.

2.2 O sistema de referência planialtimétrico e os métodos de coleta e de processamento de dados

Os equipamentos e métodos utilizados para obtenção das coordenadas horizontais (latitude e longitude) dos pontos nos perfis foram configurados para o sistema de referência geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), que é o sistema oficial adotado pelo Sistema Geodésico Brasileiro. A referência de altitude foi a altura elipsoidal referida ao elipsoide GRS-80 do sistema SIRGAS 2000.

O método de posicionamento utilizado foi o Cinemático em Tempo Real, na sigla em inglês RTK (*Real Time Kinematic*). O método consiste em utilizar dois receptores de posicionamento global por satélite (GNSS), sendo um como base e outro como *rover*. A posição do *rover* é determinada em tempo real por posicionamento absoluto de baixa precisão. Correções diferenciais são aplicadas, também em tempo real com auxílio de sinais de rádio-frequência de alto alcance, a partir das diferenças obtidas da base.

Os pontos nos perfis foram levantados pelo *rover* e as bases foram distribuídas ao longo do trecho, próximas do *rover*, para garantir precisão no posicionamento. As bases salvaram coordenadas aproximadas durante cada campanha, obtidas por posicionamento absoluto. As coordenadas definitivas das bases foram obtidas em pós-processamento on-line, via plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com método de pós-processamento Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). As coordenadas definitivas dos pontos dos perfis foram consolidadas a partir das coordenadas definitivas das bases. A precisão média das coordenadas geográficas foi de ±0,030m. Ao todo foram utilizadas 11 bases. As coordenadas projetivas no sistema Universal de Mercator (UTM). Tabela 2.

Tabela 2 – Coordenadas das bases utilizadas no levantamento topobatimétrico.

Nome	Coordenadas Pós Processadas UTM		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Base 01	6917408.111	578786.076	901.23
Base 02	6919659.069	576135.541	929.90
Base 03	6922356.064	571774.218	909.46
Base 04	6920359.676	567219.253	885.56
Base 05	6920359.688	567219.251	885.59
Base 06	6918550.846	564834.046	885.98
Base 07	6919656.638	576169.707	934.09
Base 08	6920359.695	567219.262	885.83
Base 09	6918550.840	564834.013	887.38
Base 10	6916954.625	564012.979	925.79
Base 11	6916734.514	562369.988	870.25

Fonte: O autor.

Figura 4 – Instalação e configuração do receptor base em modo RTK em um ponto de base, com uso de rádio externo.

Fonte: O autor.

Os principais equipamentos utilizados na Meta 3 – Seções Topobatimétricas do projeto Hidro-Lages podem ser observados na Tabela 4. A maioria dos equipamentos foram utilizados em atividades de campo para operacionalização das atividades, coleta de dados e segurança da equipe técnica executora.

Tabela 3 – Principais equipamentos utilizados nas campanhas de campo para levantamentos topobatimetricos.

Principais equipamentos utilizados na Meta 3 – Seções Topobatimetricas do projeto Hidro-Lages
Caminhonete com tração 4x4;
Embarcação de 19 pés e Âncora;
Motor de polpa de 15 hp's;
Tanque de combustível para 20 litros;
Remos para navegação;
GPS Topcon Modelo GR-3 de dupla frequência;
Controladora GPG Topcon Modelo GR-3
GPS de navegação Garmin Etrex Vista H;
Máquina fotográfica;
Kit Rádio Externo Topcon;
Rádio comunicador;
Haste telescópica com 8 metros;
Corda milimétrica com 15 metros;
Coletes salva-vidas, Facão, Foice, Botas e Luvas;
Caixa estanque, computador;

Fonte: O autor.

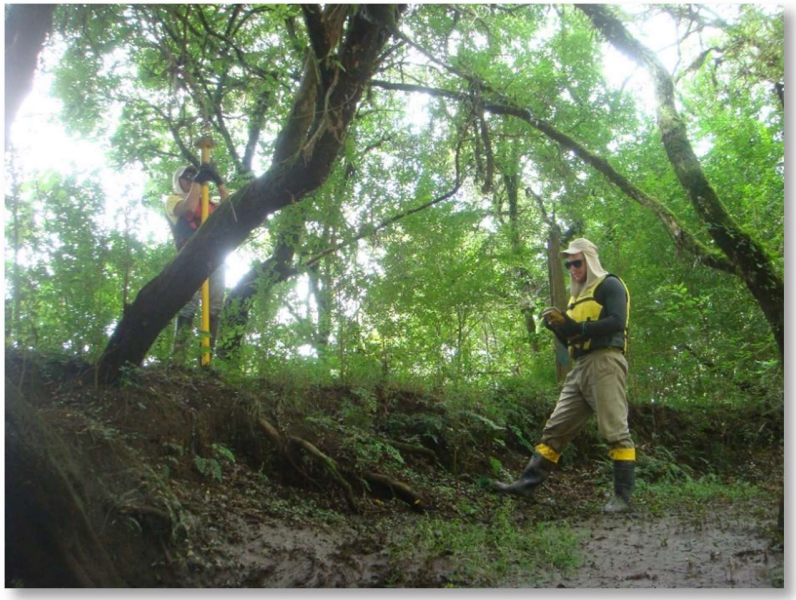
Figura 5 – Coleta de dados topobatimétricos na margem do canal.

Fonte: O autor.

Figura 6 – Coleta de dados topobatimétricos no centro do canal.

Fonte: O autor.

Figura 7 – Coleta de dados topobatimétricos na margem do canal, com uso de haste telescópica, sob vegetação.



Fonte: O autor.

A técnica utilizada com apoio da haste telescópica foi fundamental para coleta de dados dos pontos dos perfis, especialmente nas margens do canal em áreas com vegetação densa e alta. A haste possibilitou elevar o *rover* a uma posição acima da copa das árvores, a uma altura máxima de oito metros, e assim realizar o registro das coordenadas em tempo real.

Os pontos submersos do perfil foram levantados pela mesma técnica. Contudo, altura do receptor *rover* foi composta pela altura da antena até o fundo da embarcação, mais a profundidade do ponto até o nível d´água[5].

Figura 8 – Coleta de dados topobatimétricos em trecho raso do rio Caveiras.

Fonte: O autor.

[5] A profundidade foi medida com uma corda milimétrica.

Figura 9 – Coleta de dados topobatimétricos na área preenchida com água do canal com uso de haste telescópica e embarcação.

Fonte: O autor.

2.3 As alturas ortométricas dos pontos medidos

As alturas ortométricas dos pontos dos perfis foram calculadas a partir das alturas geométricas ou elipsoidais consolidadas. O modelo utilizado foi um modelo linear local, baseado nas coordenadas UTM, e está descrito em (RAFAELI NETO & BIFFI, 2016). Assim, as alturas dos pontos dos perfis foram compatibilizadas com o mesmo referencial do MDT de (SDS, 2013).

Todas as coordenadas geográficas dos 100 perfis topobatimétricos, assim como as aferições e conversões aplicadas sobre os dados, foram registradas em uma planilha eletrônica que representa um dos sub-produtos da Meta 3 - Seções Topobatimétricas.

3 O modelo batimétrico 3D do rio caveiras no trecho da planície de inundação

O produto contratual da Meta 3 é o modelo batimétrico tridimensional do Rio Caveiras, no trecho da planície de inundação. Contudo, conforme pode ser depreendido da leitura deste relatório técnico, vários outros produtos foram gerados. Destacam-se as planilhas originais de dados e os memoriais descritivos dos 100 perfis levantados a campo e que ficam anexados, disponíveis em meio digital na base dados do projeto.

O modelo topobatimétrico é representado por um arquivo digital, que pode ser manipulado por Sistemas de Informação Geográfica, como ArcGis®, Quantum GIS, entre outros. Este arquivo está disponível na base digital do projeto. O objetivo do modelo é melhorar a representatividade espacial da calha do Rio Caveiras. Quando associado ao modelo digital de terreno produzido pelo projeto (Meta 7 – Geoprocessamento: aerolevantamento) resultará em um produto de melhor qualidade e representatividade do que o MDT de (SDS, 2013) e, com isso, melhorar a estimativa das áreas inundáveis da cidade. Esta melhoria poderá resultar na qualificação do planejamento urbano, do plano de contingência e de previsões em sistema de alerta.

Além do modelo topobatimétrico digital, outros dois produtos foram gerados, quais sejam: mapa de localização da área e da distribuição espacial dos perfis levantados, na escala 1:25.000 e planilha eletrônica das coordenadas processadas dos pontos dos perfis. A planilha eletrônica concentra a base de dados completa dos perfis topobatimétricos, como coordenadas geográficas, cálculos de conversões de referenciais altimétricos, dentre outros.

4 Qualidade do MDT de Santa Catarina no trecho levantado

O modelo topobatimétrico 3D do Rio Caveiras, no trecho da sua planície inundável, foi utilizado como referência para se analisar possíveis incongruências do MDT de (SDS, 2013). A análise revelou que este modelo apresenta diferenças altimétricas significativas em relação aos valores de campo. O MDT de (SDS, 2013) está, em média, 2,20m acima do modelo topobatimétrico (Tabela 4).

O resíduo máximo encontrado para a série de dados foi de 9,79m e o mínimo de -3,92m. O Erro Médio Quadrático foi de 9,28m², o que produz um erro médio de 3,05m. As estatísticas descritivas dos resíduos das alturas observadas em campo, coletadas na etapa seções topobatimétricas, e do MDT de Santa Catarina podem ser observadas na Tabela 4.

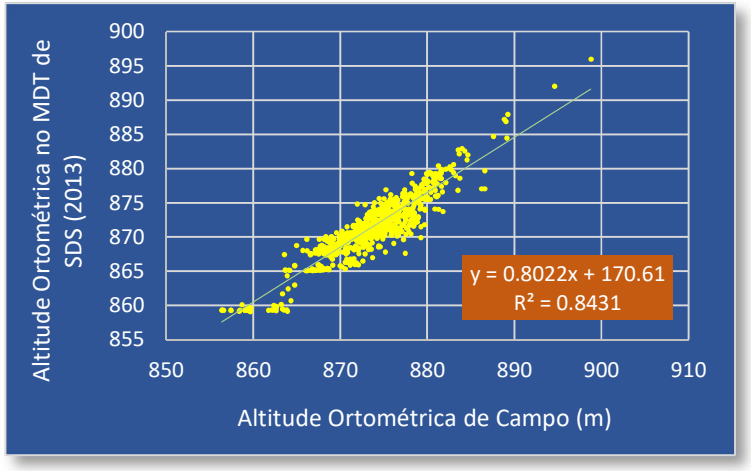
Tabela 4 - Estatísticas descritivas dos resíduos das alturas observadas a campo e no MDT de Santa Catarina.

Estatística Descritiva	Valor
n	719
Média	2,20
Erro padrão	0,08
Mediana	2,04
Desvio padrão	2,11
Variância	4,44
Curtose	0,37
Assimetria	0,38
Intervalo	13,71
Mínimo	-3,92
Máximo	9,79
EMQ	9,28
RQMR	3,05

Fonte: O autor.

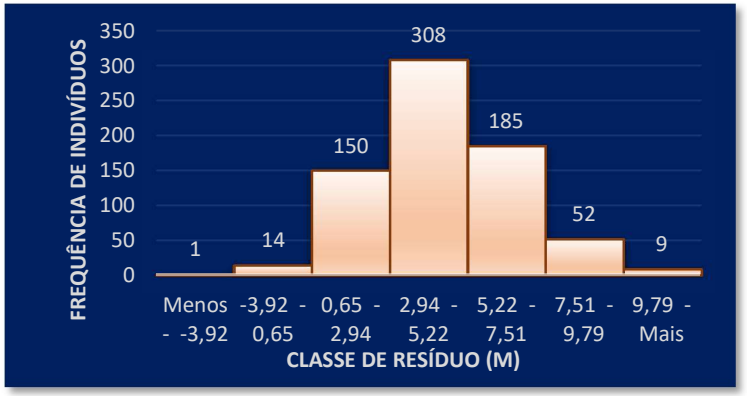
O gradiente da linha de tendência (10) no valor de 0,8022 significa que as alturas do MDT tendem a um deslocamento sistemático no sentido de superestimativa em relação aos valores de campo. A classe mais frequente de resíduos foi de 2,94m a 5,22m com 308 pontos observados (Figura 11).

Figura 10 – Diagrama de dispersão das altitudes ortométricas medidas a campo e extraídas do MDT de Santa Catarina.



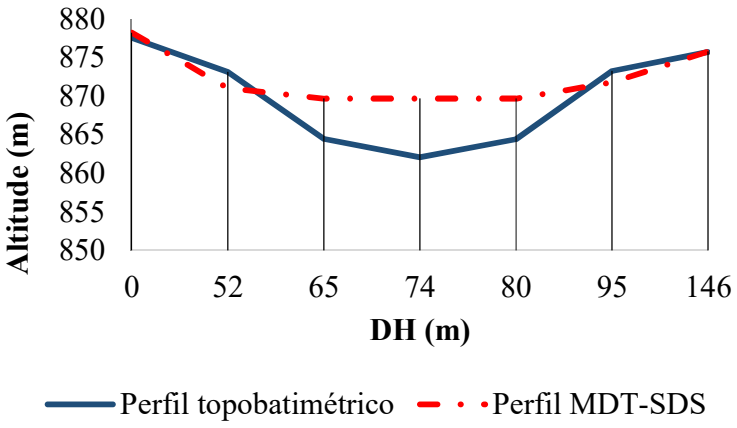
Fonte: O autor.

Figura 11 – Histograma dos resíduos.



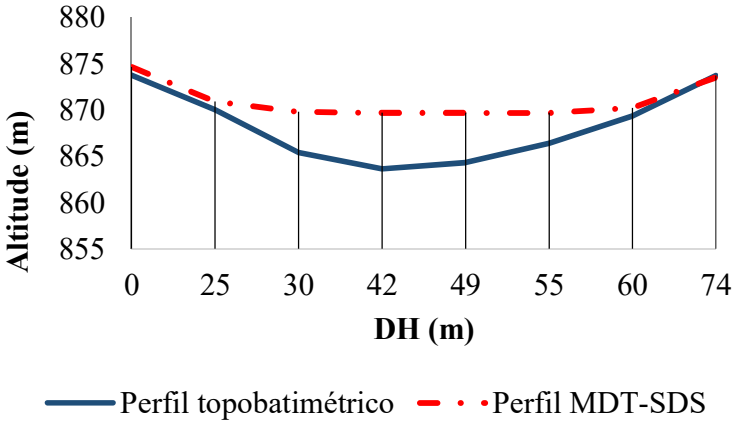
Fonte: O autor.

Figura 12 – Perfil topobatimétrico e perfil MDT-SC (SDS, 2013).



Fonte: O autor.

Figura 13 – Perfil topobatimétrico e perfil MDT-SC (SDS, 2013).



Fonte: O autor.

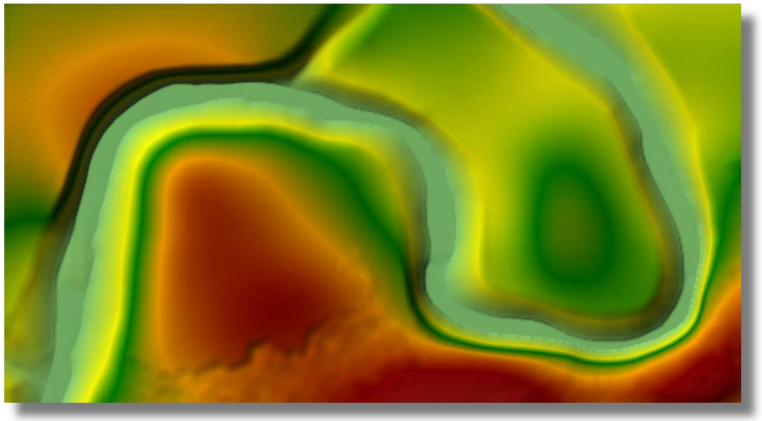
De um modo geral, a análise gráfica revelou diferenças mais significativas entre os perfis nos trechos mais profundos do Rio Caveiras do que nas margens.

A Figura 14 apresenta um trecho do Rio Caveiras representado no MDT original de (SDS, 2013). A Figura 15 apresenta o mesmo trecho com o acoplamento do modelo topobatimétrico 3D de campo. Pode-se verificar que, de um modo geral, há um aprofundamento da calha do Rio Caveiras.

Este efeito é esperado em razão do deslocamento sistemático médio de -2,20m dos pontos amostrados a campo em relação aos mesmos pontos no MDT de (SDS, 2013). O acoplamento dos dois modelos mostra que o MDT de (SDS, 2013), é mais suavizado na calha do rio em relação ao modelo topobatimétrico.

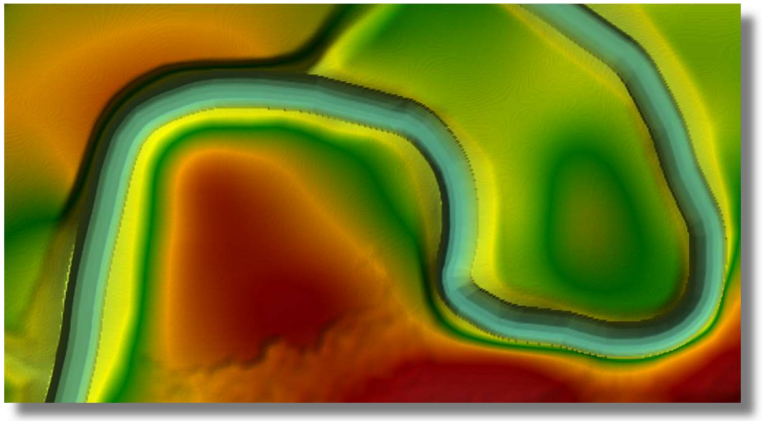
A suavização está relacionada com o método de obtenção deste MDT, que foi baseado em levantamento aerofotogramétrico, com interpolação de pontos nas regiões onde não foi possível observar a superfície topográfica na imagem aérea.

Figura 14 - Trecho do Rio Caveiras representados no MDT original de (SDS, 2013).



Fonte: O autor.

Figura 15 - Trecho do Rio Caveiras representados no MDT original de (SDS, 2013), onde se aplicou o modelo topobatimétrico 3D.



Fonte: O autor.

Apesar do acoplamento destes dois produtos resultar em um MDT onde as feições de margens e forma da calha do rio são mais definidas, esta informação somente pode ser utilizada para interpretação morfológica. Seu uso para modelagem hidrodinâmica não é recomendado tendo em vista as diferenças de altitudes mencionadas acima.

Para a finalidade de modelagem hidrodinâmica e análise de áreas de riscos, recomenda-se o acoplamento do modelo topobatimétrico 3D do Rio Caveiras, no trecho da planície topográfica de inundações, com o MDT produzido pelo projeto Hidro-Lages, Meta 7 – Geoprocessamento: aerolevantamento.

5 Características genéticas e morfológicas do trecho do Rio Caveiras na planície topográfica de inundações

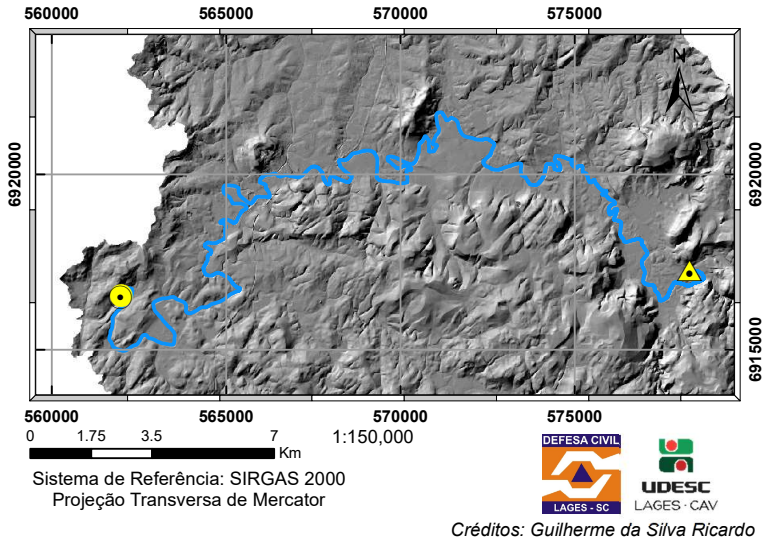
O trecho do rio Caveiras, onde os dados topobatimétricos de campo foram coletados, possui 47,5km. A primeira seção transversal está localizada nas coordenadas UTM 578.290,517 E e 6.917.280,857 N do Sistema Geodésico Brasileiro; a última seção está localizada nas coordenadas 561.995m,254 E; 6.916.528,623 N) (Figura 16**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

A classe genética do Rio Caveiras aponta para um rio *Consequente*, ou seja, seu curso natural foi determinado pela declividade da superfície do terreno, seguindo a direção e inclinação das camadas geológicas que ocorrem na região (Christofoletti, 1980) (Villela & Mattos, 1978).

O Rio Caveiras é um rio *Perene*, ou seja, possui escoamento em seu leito durante todo o tempo, sendo alimentado pelo lençol freático em períodos de estiagens. Nestes períodos, seu nível fica alinhado com o nível do lençol freático.

Quanto ao padrão de drenagem, o Rio Caveiras pode ser considerado um rio de *padrão dendrítico*, padrão este apresentado pelos seus afluentes, ou seja, seus ângulos de inserção com o rio principal são aleatórios e próximos do ângulo reto.

Figura 16 – Trecho do Rio Caveiras onde os levantamentos topobatimétricos foram realizados.



Créditos: Guilherme da Silva Ricardo

Os atributos morfométricos do trecho são parâmetros de forma que descrevem a conformação desta feição espacial. Os parâmetros aqui apresentados são (Tabela 5): Comprimento Total (L_t), Comprimento Axial (L_x), Cota Máxima ($C_{máx}$) e Mínima ($C_{mín}$), Relevo Total (H), Declividade Total (d) e Sinuosidade (S). Estes parâmetros, quando analisados em conjunto, auxiliam o entendimento do comportamento hidrológico do rio.

Tabela 5 - Parâmetros morfométricos do trecho da planície topográfica de inundações.

Parâmetro	Valor
L_t (km)	47,50
L_x (km)	16,32
$C_{máx}$(m)	879,30
$C_{mín}$(m)	859,15
H (m)	20,15
d	1:2.381
S (%)	65,64

Fonte: O autor.

O comprimento total representa a distância entre o início e o fim do trecho, ou seja, representa o comprimento do traçado do rio. O comprimento axial é a distância medida entre a primeira e a última seção transversal. O comprimento axial é a distância vetorial deste intervalo. O comprimento total do trecho é de 47,50km e o comprimento axial é 16,32km.

A cota máxima é obtida no início do trecho e a cota mínima no fim do trecho. As cotas máxima e mínima do trecho são 879,30 metros e 859,15 metros respectivamente. O relevo total é representado pela diferença entre a cota máxima e cota mínima, que para o trecho é de 20,15 metros.

A velocidade de escoamento de um curso d´água depende diretamente de sua declividade, ou seja, da relação entre o desnível total do trecho e a distância percorrida pela água. Quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento.

A declividade total do trecho é de 0,00042, o que corresponde a uma relação de 1:2.381, ou seja, 1m de desnível para 2.381m de extensão. No trecho compreendido entre a seção inicial e a confluência com o Rio Ponte Grande a declividade é de. 0.000373. Este trecho é especialmente importante porque faz parte da área de captação da Junção 4, que fica localizada na confluência do Rio Ponte Grande com o Rio Caveiras e possui baixa declividade, compatível com planícies inundáveis.

A sinuosidade (Equação 1) também interfere no escoamento do canal. Quanto mais sinuoso, maiores as perdas de cargas e menores as velocidades de escoamentos. Cursos d´água sinuosos são típicos em planícies sedimentares, como é o caso do Rio Caveiras no trecho analisado.

$$Sin = \frac{100(Lt - Lx)}{Lt} \quad (1)$$

A sinuosidade pode ser expressa em porcentagem e classificadas de acordo com (Mansikkaniemi, 1982).

Tabela 6 - Classes de sinuosidade para cursos d´água.

Classe	Descrição	Limites
I	Muito reto	< 20%
II	Reto	20% a 29,9%
III	Divagante	30% a 39,9%
IV	Sinuoso	40% a 49,95%
V	Muito sinuoso	> 50%

Fonte: (Mansikkaniemi, 1982).

O trecho do Rio Caveiras, onde foi realizada a topobatimetria, é de 65,64%, ou seja, muito sinuoso conforme classificação proposta por (Mansikkaniemi, 1982).

De acordo com os parâmetros morfométricos do trecho, verifica-se que para o comprimento total de 47,50km, o relevo total de 20,15m representa uma pequena variação altimétrica, o que reflete na baixa declividade média do trecho de 0,0042%. A baixa declividade favorece a sinuosidade no trecho, classificado como muito sinuoso. A combinação destes fatores implica em alta resistência ao escoamento da água, com baixas velocidades, o que explica em parte o processo de inundação que ocorre no Setor SC LA SR-03 CPRM. Estes parâmetros também justificam a recomendação de que o uso da terra nesta planície seja destinado à reservação durante eventos extremos de chuvas. Isto não implica que os usos atuais na zona urbana não possam ser mantidos.

6 Bibliografia

Christofoletti, A. (1980). *Geomorfologia.* São Paulo: Edgard Blücher.

Mansikkaniemi, H. (1982). *The sinuosity of rivers in northern Finland. Publications instituti Geographici Universitatis Turkuensis.*

Martins, W. R. (2013). *Topobatimetria e Geração de Modelo Digital de Terreno no Monitoramento da Dinâmica Fluvial do Ribeirão Guaratinguetá.* Guaratinguetá.

RAFAELI NETO, S. L., & BIFFI, L. J. (2016). *Aplicação de um modelo linear local na determinação de alturas ortométricas referidas ao sistema geodésico brasileiro.* . Goiânia: ISSN: 1984-8501 Bol. Goia. Geogr. (Online). Goiânia, v. 36, n. 1, p. 157-176, jan./abr.

SDS. (2013). *Levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina. Estado de Santa Catarina, Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado De Santa Catarina (SDS/SC).* Florianópolis.

Villela, S. M., & Mattos, A. (1978). *Hidrologia Aplicada.* São Paulo: MacGran-Hill do Brasil.