

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos



Dissertação

**Comportamento hidrodinâmico na confluência de rios: estudo de caso do
Canal São Gonçalo - Arroio Pelotas**

Larissa Corrêa Santos

Pelotas, 2023

Larissa Corrêa Santos

**Comportamento hidrodinâmico na confluência de rios: estudo de caso do
Canal São Gonçalo - Arroio Pelotas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares

Coorientador: Dr. Guilherme Krüger Bartels

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S237c Santos, Larissa Corrêa

Comportamento hidrodinâmico na confluência de rios :
estudo de caso do Canal São Gonçalo - Arroio Pelotas /
Larissa Corrêa Santos ; Gilberto Loguercio Collares,
orientador ; Guilherme Krüger Bartels, coorientador. —
Pelotas, 2023.

156 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação
em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento
Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Hidrodinâmica de zona de confluência. 2. Confluência
assimétrica. 3. ADCP. 4. Velocity Mapping Toolbox. I.
Collares, Gilberto Loguercio, orient. II. Bartels, Guilherme
Krüger, coorient. III. Título.

CDD : 627

Larissa Corrêa Santos

Comportamento hidrodinâmico na confluência de rios: estudo de caso do Canal São
Gonçalo - Arroio Pelotas

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos, pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico, da Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 27 de fevereiro de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares (Orientador)

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Leonardo Contreira Pereira

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Pierre et Marie Curie (Paris VI)

Dr. Guilherme Krüger Bartels (Coorientador)

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma
gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse
uma gota.*

Madre Teresa de Calcutá

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus por me proteger, guiar e iluminar todos os caminhos trilhados, me conceder saúde e equilíbrio para a conclusão desta etapa.

Agradeço a mim por nunca desistir e ter coragem de enfrentar os desafios da vida, sempre em busca de evolução, equilíbrio e aprimoração dos conhecimentos.

Agradeço aos meus pais Eloisa Corrêa e Olvedo Santos, aos meus irmãos William Santos e Vitor Santos, meu sobrinho Valentim Santos e demais familiares por todo apoio, incentivo e suporte durante a minha especialização.

Ao meu orientador Gilberto Loguercio Collares, agradeço o apoio e orientação na trajetória de elaboração deste projeto de dissertação.

Ao doutor Guilherme Krüger Bartels, agradeço o apoio, disposição e paciência nos auxílios prestados para o desenvolvimento deste projeto de dissertação.

Aos técnicos Roberto Martins da Silva Décio Junior e Reginaldo Galski Bonczynski, pelo companheirismo e auxílio nas campanhas de amostragens e nas análises realizadas no Laboratório de Hidroquímica e Hidrossedimentologia do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas.

À Universidade Federal de Pelotas, à Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim, por viabilizarem a execução deste trabalho.

À CAPES-Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil, código de financiamento 001, pelo apoio à realização do presente trabalho.

Aos meus amigos, colegas (ALM e NEPE-HIDROSSEDI) e todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, que direta ou indiretamente contribuíram na minha formação com todo o conhecimento e experiência.

Muito obrigado!

Resumo

SANTOS, Larissa Corrêa. **Comportamento hidrodinâmico na confluência de rios: estudo de caso do Canal São Gonçalo - Arroio Pelotas**. Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares. 2023. 156f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Nos últimos anos observa-se um aumento de estudos sobre a hidrodinâmica nas zonas de confluência de rios, principalmente para melhorar o manejo e uso da água e para compreender o corpo hídrico como um todo. Estas zonas de confluências são responsáveis pela separação e formação de rios, fundamentais na compreensão das redes fluviais e para o desenvolvimento das bacias hidrográficas. Neste contexto, este estudo foi conduzido na confluência do Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas, localizada próximo a zona urbana do município de Pelotas-RS. Considerando a incipiência de estudos nessa temática na região, o objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento hidrodinâmico na confluência entre o Canal São Gonçalo e o Arroio Pelotas. Para isto, foram realizadas três campanhas amostrais com condições hidrológicas distintas, onde foram realizadas medições de velocidade de fluxo e vazão empregando equipamento de medição acústica por efeito doppler (ADCP), modelo *RiverSurveyor® M9*; coleta de água subsuperficial para determinação de salinidade; coleta do sedimento de fundo, empregando um amostrador do tipo Rock-Island, nas treze seções transversais pré-definidas na zona de confluência (ZC), os quais tiveram caracterizada a sua granulometria em laboratório. Após os levantamentos, o processamento dos dados de velocidade do fluxo foi realizado com emprego do software Velocity Mapping Toolbox - VMT, que permitiu a reprodução de campos compostos nas seções transversais, para obtenção da velocidade tridimensional média da zona de confluência. A partir dos resultados foi possível verificar as variações dos dados medidos com e sem intrusão salina, a significativa influência das condições hidrológicas perante ao escoamento, onde o canal principal (Canal São Gonçalo - SG) apresentou maiores vazões, velocidade do fluxo e profundidade em relação ao tributário (Arroio Pelotas - AP), que apresentou vazão e velocidades negativa na campanha amostral de menor precipitação acumulada, devido a deflexão e estagnação de fluxo, possível aumento de pressão e de profundidade (AP-SG), reflexo da convergência e remanso fluvial, devendo-se levar em consideração que além destes fatores apontados, o Canal São Gonçalo, por possuir como característica a inversão de fluxo, pode ter contribuído com escoamento para o Arroio Pelotas. Foram verificadas direções de fluxo distintas para condições de baixa, média e alta pluviosidade, assim como, a influência dos ventos nordeste, norte-nordeste no verão e leste na primavera, na magnitude das velocidades dos fluxos, quando analisado por microrregião. Além disso, verificou-se também que os fluxos apresentaram regime subcrítico e variação de dominância entre as forças de empuxo e inerciais em relação ao movimento dos fluxos na entrada, no centro e na saída da zona de confluência, a partir do número de Froude interno, que se manteve com valores variados, em ambas as campanhas amostrais. O fator de atrito foi de 0,24 para AP e 6,14 para SG, com dominância do fluxo do Arroio Pelotas na data do dia 10/01/2022. Os dados obtidos em 21/07/2022 e 04/11/2022 apontam domínio do Canal São Gonçalo em relação ao fluxo, com fatores de atrito de 0,45 e 26,76 para AP e 0,04 e 0,11 para SG, respectivamente.

Com base na representação conjunta das velocidades médias das seções transversais calculadas no VMT identificaram-se zona de estagnação; zona de separação e recirculação; zona de aceleração; e zona de recuperação do fluxo. Por fim, foi possível perceber a presença de sedimentos mais finos a montante da ZC no Arroio Pelotas e sedimentos mais grosseiros no centro da ZC, no Canal São Gonçalo a montante e a jusante da ZC, com esta identificação granulométrica foram obtidos o coeficiente de rugosidade e a profundidade de fluxo relativa (H/D_{84}), parâmetros estes, que permitiram inferir que a resistência ao fluxo ocasionada pela rugosidade do leito foi muito pequena entre os pontos amostrados, o que indica que não ocorreu influência direta do tipo de sedimento de fundo com o escoamento do fluxo.

Palavras-chave: Hidrodinâmica de Zona de Confluência. Confluência assimétrica. ADCP. Velocity Mapping Toolbox.

Abstract

SANTOS, Larissa Corrêa. **Hydrodynamic Behavior at River Confluence: A Study of the São Gonçalo Channel and Pelotas Stream Confluence**. Advisor: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares. 2023. 156f. Dissertation (Master in Water Resources) – Water Resources Postgraduate Program, Technological Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

In recent years, an increase in studies on hydrodynamics in river confluence zones has been observed, mainly to improve water management and use and to understand the water body as a whole. These confluence zones are responsible for the separation and formation of rivers, which are fundamental to understanding river networks and developing river basins. In this context, this study was conducted at the confluence of the São Gonçalo Channel and the Pelotas Stream, located near the urban area of the municipality of Pelotas-RS. Considering the lack of studies on this topic in the region, the objective of this research was to analyze the hydrodynamic behavior at the confluence between the São Gonçalo Channel and the Pelotas Stream. To this end, three sampling campaigns were carried out with different hydrological conditions, where flow velocity and discharge measurements were made using an acoustic Doppler current profiler (ADCP), the RiverSurveyor® M9 model; collection of subsurface water for salinity determination; and collection of bottom sediment using a Rock-Island sampler in the thirteen pre-defined transverse sections in the confluence zone (ZC), whose granulometry was characterized in the laboratory. After the surveys, the processing of the flow velocity data was carried out using the Velocity Mapping Toolbox - VMT software, which allowed for the reproduction of composite fields in the transverse sections to obtain the average three-dimensional velocity in the confluence zone. From the results, it was possible to verify the variations of the measured data with and without saline intrusion, the significant influence of hydrological conditions on the flow, where the main channel (São Gonçalo Channel - SG) showed higher discharge, flow velocity, and depth compared to the tributary (Pelotas Stream - AP), which showed negative discharge and velocity in the sample campaign with the lowest accumulated precipitation due to deflection and stagnation of flow, possible increase in pressure and depth (AP-SG), reflection of convergence and river backwater, taking into account that besides these factors, the São Gonçalo Channel, due to its characteristic of flow inversion, may have contributed to the flow to the Pelotas Stream. Distinct flow directions were observed for low, medium, and high rainfall conditions, as well as the influence of northeast, north-northeast winds in the summer and east in the spring on the magnitude of flow velocities when analyzed by microregion. Furthermore, it was also verified that the flows presented a subcritical regime and a variation of dominance between thrust and inertial forces in relation to the movement of flows at the entrance, center, and exit of the confluence zone, from the internal Froude number, which remained with varied values in both sample campaigns. The frictional factor was 0.24 for AP and 6.14 for SG, with dominance of the flow of the Pelotas Stream on the date of January 10th, 2022. The data obtained on July 21st, 2022 and November 4th, 2022 indicate the dominance of the São Gonçalo Channel in relation to the flow, with frictional factors of 0.45 and 26.76 for AP and 0.04 and 0.11 for SG, respectively. Based on the joint representation of the average velocities of the cross sections calculated in the VMT, a stagnation zone was identified; separation and

recirculation zone; acceleration zone; and flow recovery zone. Finally, the presence of finer sediments upstream of the ZC in the Pelotas Stream and coarser sediments in the center of the ZC in the São Gonçalo Channel upstream and downstream of the ZC were noticed. With this granulometric identification, the roughness coefficient and the relative flow depth (H/D_{84}) were obtained, these parameters allowed to infer that the resistance to the flow caused by the roughness of the bed was very small between the sampled points, indicating that there was no direct influence of the type of bottom sediment on the flow discharge.

Keywords: Confluence Zone Hydrodynamics. Asymmetric Confluence. ADCP. Velocity Mapping Toolbox.

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e zona de confluência.	24
Figura 2 - Localização da zona de confluência e respectivos pontos de referência. .	25
Figura 3 – Ilustração de seção usual para canais naturais: trapezoidal.	31
Figura 4 – Modelo conceitual de estrutura de fluxo em confluências (A) simétrica (Mosley, 1976; Best, 1986), (B) assimétrica (Best, 1987) e (C) meandro confluyente (Roberts, 2004).	43
Figura 5 – Pulso acústico emitido sendo retroespalhado e retornado como um eco ao emissor.....	49
Figura 6 – Componentes do ADCP M9 da Sontek.	51
Figura 7 – Ilustração de Perfilador de Corrente Acustica por Efeito Doppler realizando a medição em um campo de velocidade homogêneo.....	52
Figura 8 – Área de medição do ADCP e respectivas áreas limitantes obtidas por estimativa.	53
Figura 9 – Exemplos de dados brutos ADCP mapeados para cálculo de linha de seção transversal média.	57
Figura 10 – Representação esquemática do procedimento de média do transecto: (A) definição da orientação média; (B) projeção dos dados para o plano da seção transversal; (C) interpolação de dados; (D) cálculo da média aritmética de todos os transectos.....	59
Figura 11 – Distribuição das seções transversais na zona de confluência.	61
Figura 12 – Distribuição dos pontos amostrais na zona de confluência.....	62
Figura 13 – Equipamentos componentes para medição de vazão pelo Método Acústico do Efeito Doppler: (A) ADCP M9; (B) Cabo de conexão ADCP/PCM; (C) GPS, suportes de instalação e cabo de conexão GPS/PCM; (D) Módulo de Energia (PCM); (E) Suporte de pilhas PCM; (F) Antenas de Conexão PCM/PC; (G) Prancha de Suporte; (H) Software RiverSuveyor Live.....	64
Figura 14 – Amostrador de sedimento de fundo do tipo Rock-Island.....	65
Figura 15 – Análise granulométrica etapas método de peneiramento: (A) secagem sedimento coletado; (B) destorroamento sedimento; (C) processo de peneiramento em rotap; (D) sedimento retido na peneira de fundo.	66
Figura 16 – Análise granulométrica etapas de pipetagem: (A) sedimento fino utilizado; (B) inserção de 8mL de NaOH; (C) becker preenchido em 200 mL com	

sedimento + NaOH + água e o agitador ao fundo; (D) proveta completa com água até 800 mL (200 mL de sedimento + NaOH + água); (E) pesagem prévia becker de vidro utilizado para cada pipetagem; (F) pipetagem; (G) secagem pipetado em estufa a 105°C; (H) descanso após estufa em dessecador; (I) visualização plana da solução seca após estufa; (J) dessecador fechado por uma pernoite; (K) pesagem Becker após dessecador; (L) NaOH seco após estufa e dessecador.	68
Figura 17 – Tela inicial do software VMT.	70
Figura 18 – Fluxograma de possíveis plotagens e respectivos resultados.	70
Figura 19 – Fluxograma das ações realizadas no Velocity Mapping Toolbox e seus respectivos dados e mapa resultantes.	73
Figura 20 – Mapa de visualização da velocidade no plano da zona de confluência: (A) primeira campanha amostral; (B) segunda campanha amostral; (C) terceira campanha amostral.	86
Figura 21 – Mapa de visualização do plano da zona de confluência de 10/01/2022 com indicação da direção do vento (rosa dos ventos NNE e NE).	94
Figura 22 – Mapa de visualização do plano da zona de confluência de 21/07/2022 com indicação da direção do vento (rosa dos ventos N).	95
Figura 23 – Mapa de visualização do plano da zona de confluência de 04/11/2022 com indicação da direção do vento (rosa dos ventos E).	96
Figura 24 – Curva granulométrica do sedimento do ponto 1 para as três campanhas amostrais.	98
Figura 25 – Curva granulométrica do sedimento do ponto 2 para as três campanhas amostrais.	99
Figura 26 - Curva granulométrica do sedimento do ponto 3 para as três campanhas amostrais.	100
Figura 27 – Curva granulométrica do sedimento do ponto 4 para as três campanhas amostrais.	101

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Elementos geométricos da seção.....	31
Tabela 2 – Valores para o cálculo do coeficiente de Manning pelo método de Cowan.	33
Tabela 3 – Coeficiente de rugosidade para canais naturais.....	34
Tabela 4 – Coeficiente de Bazin.....	37
Tabela 5 – Comparação de variação de Chezy C, Bazin m e Kutter n.	38
Tabela 6 – Valores de rugosidade do canal de Powell.....	38
Tabela 7 – Resultados da Razão de Fluxo de Momento.....	41
Tabela 8 – Distância recomendada entre verticais para a aplicação do método de molinete hidrométrico.	47
Tabela 9 – Posição do molinete na vertical em relação a profundidade.	47
Tabela 10 – Cálculo da velocidade média na vertical.	48
Tabela 11 – Faixa de tamanho de sedimento em milímetros segundo AGU.	56
Tabela 12 – Dados da estação meteorológica de monitoramento do dia antecedente e respectivo a saída de campo.....	60
Tabela 13 – Detalhamento das seções transversais.....	62
Tabela 14 – Detalhamento pontos amostrais de amostragem de sedimento e água.	63
Tabela 15 – Configurações e parâmetros de VMT para geração dos mapas referentes a primeira campanha amostral (10/01/2022).....	74
Tabela 16 – Processamento de dados no RiverSurveyor Live.....	76
Tabela 17 – Propriedades de vazão e características da água do canal São Gonçalo e Arroio Pelotas durante as campanhas amostrais.	78
Tabela 18 – Características hidráulica da zona de confluência.....	81
Tabela 19 – Resumo das medições realizadas com ADCP para cada seção transversal em 10/01/2022.....	90
Tabela 20 – Resumo das medições realizadas com ADCP para cada seção transversal em 21/07/2022.....	90
Tabela 21 – Resumo das medições realizadas com ADCP para cada seção transversal em 04/11/2022.....	91
Tabela 22 – Diâmetros característicos do ponto amostral 1.	102
Tabela 23 – Diâmetros característicos do ponto amostral 2.	103

Tabela 24 – Diâmetros característicos do ponto amostral 3.	103
Tabela 25 – Diâmetros característicos do ponto amostral 4.	103
Tabela 26 – Coeficiente de rugosidade de Manning e profundidade de fluxo relativa.	104

Lista de Abreviaturas e Siglas

ADCP	Perfilador de Corrente Acústica por Efeito Doppler
AGU	American Geophysical Union
ALM	Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AP	Arroio Pelotas
BHAP	Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas
BHMSG	Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
E	Leste
ENE	Leste-Nordeste
ENU	East, North, Up
EPA	Environmental Protection Agency
ESE	Leste-Sudeste
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Sistema de posicionamento global
IBF	Instituto Brasileiro de Florestas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NE	Nordeste
PCD	Plataforma Central de Dados
PCM	Módulo de alimentação e comunicação
RS	Rio Grande do Sul
NOAA	National Centers For Environmental Information
N	Norte
NE	Nordeste
NNE	Norte-Nordeste
NNW	Norte-Noroeste
NW	Noroeste
S	Sul
SE	Sudeste

SG	São Gonçalo
SSE	Sul-Sudeste
SSW	Sul-Sudoeste
SW	Sudoeste
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverso de Mercador
VMT	Velocity Mapping Toolbox
W	Oeste
WNW	Oeste-Noroeste
WSW	Oeste-Sudoeste
ZC	Zona de confluência

SUMÁRIO

1	Introdução	18
2	Objetivos	22
2.1	Geral	22
2.2	Específicos.....	22
2.3	Hipóteses	23
3	Fundamentação Teórica e Revisão da literatura	24
3.1	Área de Estudo	24
3.2	Características Gerais.....	24
3.3	Estudos Pré-existentes	27
3.4	Hidráulica	30
3.5	Hidrodinâmica em zonas de confluência.....	42
3.6	Métodos para levantamento de dados fluviométricos	46
3.7	Métodos de caracterização de sedimentos	53
3.8	Pós-Processamento de dados de velocidade	56
4	Materiais e Métodos	60
4.1	Campanhas e Rede Amostral	60
4.2	Levantamento de dados de velocidade do fluxo	63
4.3	Técnica de amostragem e caracterização do sedimento de fundo	65
4.4	Amostragem de água subsuperficial	69
4.5	Processamento dos dados de velocidade.....	69
5	Resultados e Discussões	76
5.1	Condições Hidrológicas e Hidráulicas	78
5.2	Padrões de velocidade do fluxo	84
5.2.1	Visualização das velocidades no plano da zona de confluência.....	84
5.2.2	Influência da direção e velocidade dos ventos em relação ao fluxo	88
5.3	Características do sedimento de fundo	97
6	Conclusão	105
7	Recomendações para trabalhos futuros.....	106
	Referências Bibliográficas	108
	Anexos	122
	Apêndices.....	124

1 Introdução

Estudos sobre a hidrodinâmica em zonas de confluências permite o entendimento da movimentação dos fluxos, assim como das principais influências e alterações que um rio ocasiona sobre outro.

De acordo com Santos *et al.* (2022a) e Yuan *et al.* (2021) as zonas de confluências podem ser definidas como a área de encontro entre corpos hídricos em bacias hidrográficas. Rhoads (2020) aponta que a confluência tem papel importante na formação e separação de rios de grande ou pequeno porte, determinístico para o arranjo dos corpos hídricos, sendo que através destes ocorre a união de pequenos rios para a formação de grandes rios ou a separação dos grandes rios para a formação de rios menores. Essas conexões são fundamentais na estruturação das redes fluviais e podem ser chamadas de nós, confluências ou confluência de fluxo entre nós, bem como, de redes de canais em rios entrelaçados e com ramificações, que se desenvolvem ao longo da evolução da gênese das bacias de drenagem.

As confluências, segundo Rhoads e Johnson (2018) e Yuan *et al.* (2021), ocasionam mudanças significativas na hidrodinâmica dos fluxos, morfologia do leito, bem como nas características da descarga líquida, transporte de sedimento, estrutura do fluxo e geometria hidráulica. Além da intensificação nos processos de erosão e alteração na ecologia, contribuintes para a alteração na temperatura da água, concentração de nutrientes, parâmetros químicos da água e conteúdo de matéria orgânica.

A respeito dessas mudanças nos corpos hídricos, em zonas de confluência, estudos destacam que também são influenciados pelo ângulo de junção dos afluentes (RHOADS, 2020). Os ângulos de junções, de acordo com Rhoads e Johnson (2018), nas formas mais comuns podem ser simétricos (quando dois rios pequenos se encontram, por esta união formam um rio grande) e assimétricos (quando um grande rio, reto, tem um afluente de menor tamanho, que se junta ao seu fluxo).

Estudos hidrodinâmicos, a nível mundial, foram conduzidos por alguns pesquisadores tais como Rhoads e Kenworthy (1995), Riley e Rhoads (2012) e Yuan *et al.* (2021), que realizaram análises sobre a estrutura dos fluxos e morfologia dos canais nas zonas de confluência dos fluxos assimétricos do Rio Kaskaskia e Copper Slough no sudeste de Illinois e na curva de meandro do Rio Little Wabash e Big

Muddy Creek no centro-oeste de Illinois, ambos no Estados Unidos, assim como na confluência do Lago Poyang e o Rio Yangtze, na China, respectivamente.

O estudo realizado por Yuan *et al.* (2021), aponta que a forma do canal e a vazão influenciam na dinâmica do fluxo e no movimento helicoidal, este evidenciado devido o formato de curvatura do rio principal e sua introdução ao fluxo afluente. Também foi identificada presença de buracos de limpeza associado a existência de duplo movimento helicoidal, quando este se encontrava com maior intensidade de fluxo.

Os buracos de limpeza, também chamados de buracos de lavagem, foi estudado por Ferrarin *et al.* (2018) nas confluências do Lago de Veneza na Itália. Os autores relatam que são depressões que ocorrem no leito dos corpos hídricos, ocasionadas por processos erosivos influenciados pelas condições hidrodinâmicas dos fluxos, comumente encontrado em zonas de confluências de canais, e que se tornam mais profundos com o aumento do ângulo de junção, assim como também estão relacionados às condições geométricas e de vazão dos rios.

De acordo com Rhoads e Johnson (2018), o movimento helicoidal resultante de forças centrífugas atuando sobre o fluxo, foi evidenciado no estudo de estrutura de fluxo tridimensional e morfodinâmica da confluência dos rios Wabash e Embarras, localizados na fronteira de Illinois e Indiana no EUA, que também relatam que o desenvolvimento do movimento helicoidal é influenciado pela curvatura do canal e pela alteração de direção do fluxo na zona de confluência, conforme a presença dessa alteração no sentido padrão do fluxo do canal tributário ocorre uma produção de curvatura de maneira abrupta na movimentação dos fluxos que resultam na atuação das forças centrífugas. Esse movimento é identificado através da análise das orientações dos vetores de velocidade em formato bidimensional ou tridimensional (RHOADS e SUKHODOLOV, 2001), que permitem a identificação da velocidade do fluxo em todas as direções.

No Brasil, estudos desenvolvidos por Gualtieri *et al.* (2019) e Luz *et al.* (2020), mostram a análise dos efeitos da diferença na densidade da água na mistura da confluência entre os rios Negro e Solimões no Amazonas e das causas e efeitos da confluência dos rios Paraguai e Cuiabá no Pantanal, respectivamente. No estudo de Luz *et al.* (2020), foram identificadas variações de escoamento de acordo com as condições hidrológicas, processos de separação e formação de fluxo devido a forma e o ângulo de confluência, influencias de velocidade e vazão do fluxo na formação

de movimento helicoidal e buracos de limpeza. Além de variações de dominância de transporte com diferentes granulometrias de sedimento de fundo.

Considerando a limitação de estudos hidrodinâmicos em zonas de confluência na América do Sul e no Brasil, o Canal São Gonçalo é um corpo hídrico importante nos três pilares da sustentabilidade (PENSO-CAMPOS *et al.*, 2022), devido seus múltiplos usos: pesca, abastecimento, irrigação e navegação (ALVES *et al.*, 2018). Além disso, é o canal responsável pela ligação entre a Lagoa Mirim e Laguna dos Patos, sendo que a Mirim é o mais importante corpo hídrico da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, de características especiais por ser transfronteiriça, localizada na divisa entre o Brasil e o Uruguai (ALM, 2023; GONÇALVES, 2020), e têm como principais afluentes o Arroio Pelotas, Arroio Fragata, Arroio do Pavão e Rio Piratini. Dentre os seus afluentes, o Arroio Pelotas, curso principal da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas drena uma área de 910km² (MEGIATO, 2011), com sua nascente no município de Canguçu-RS e exutório no Canal São Gonçalo (CHAVES *et al.*, 2021), no município de Pelotas-RS, criando uma zona de confluência assimétrica (SANTOS *et al.*, 2022a).

Apesar da importância de estudos sobre a hidrodinâmica em zona de confluência entre corpos hídricos para o entendimento da movimentação dos fluxos, o número de pesquisas realizadas nessa área de interesse ainda são incipientes (SANTOS *et al.*, 2022a), as pesquisas existentes na região (GONÇALVES *et al.*, 2023; KASBURG, 2016; MEGIATO, 2011; SOUZA, 2015) destacam a caracterização física, avaliação da qualidade da água, avaliação das variáveis climatológicas e oscilação de nível, a caracterização do transporte de sedimentos em suspensão, assim como resultados de vazão e velocidade da água, não permitindo uma análise integrada dos movimentos dos fluxos, assim como sobre as forças que atuam sobre estes, na zona de confluência.

Desta forma, este estudo visa analisar a hidrodinâmica na confluência do Canal São Gonçalo e do Arroio Pelotas. Certamente que as informações servirão como auxiliares aos instrumentos de gestão e tomada de decisão, associadas ao monitoramento permanente desse ambiente, já que o Canal São Gonçalo é uma das hidrovias de transporte fluvial entre o Uruguai, do sul do Brasil até o mar, no Porto de Rio Grande. Associado a isso, a compreensão da hidrodinâmica dessa confluência também poderá ser ferramenta auxiliar na tomada de decisão frente a captação de água destinada para o abastecimento público e irrigação, assim como

nas atividades pesqueiras, uma vez que as diferentes condições hidrodinâmicas na confluência e os fenômenos internos presentes, contribuem para alteração das condições de qualidade da água para desenvolvimento da vida aquática.

2 Objetivos

2.1 Geral

Analisar o comportamento hidrodinâmico na confluência entre o Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas, na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo.

2.2 Específicos

- I. Analisar as influências de condições hidrológicas distintas, com alta e baixa pluviosidade, nas variações de nível de água e direção de fluxo, na hidrodinâmica dos corpos hídricos;
- II. Examinar os efeitos da zona de confluência sobre as variações de velocidade e no escoamento dos corpos hídricos a montante e a jusante da zona de confluência;
- III. Avaliar a influência do sedimento de fundo sob a hidrodinâmica dos fluxos.

2.3 Hipóteses

- I. A ação do vento e o nível da água influenciam diretamente na hidrodinâmica na zona de confluência entre o Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas.
- II. As características granulométricas do sedimento de fundo ocasionam alterações nas condições de resistência do fluxo na hidrodinâmica.

3 Fundamentação Teórica e Revisão da literatura

3.1 Área de Estudo

A seguir serão apresentadas as características gerais dos corpos hídricos confluentes na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, sendo estes o Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas. Também serão apresentadas as principais pesquisas pré-existentes, a fim de evidenciar a relevância deste estudo.

3.2 Características Gerais

O local do estudo consiste do encontro entre o Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas (Figura 1), que possuem confluência nas margens do município de Pelotas, na região sul do estado do Rio Grande do Sul, localizado na região sudoeste da Laguna dos Patos e norte do canal São Gonçalo. O município possui uma área territorial de 1.609,708km², e população estimada em aproximadamente 343.826 habitantes segundo IBGE (2020).

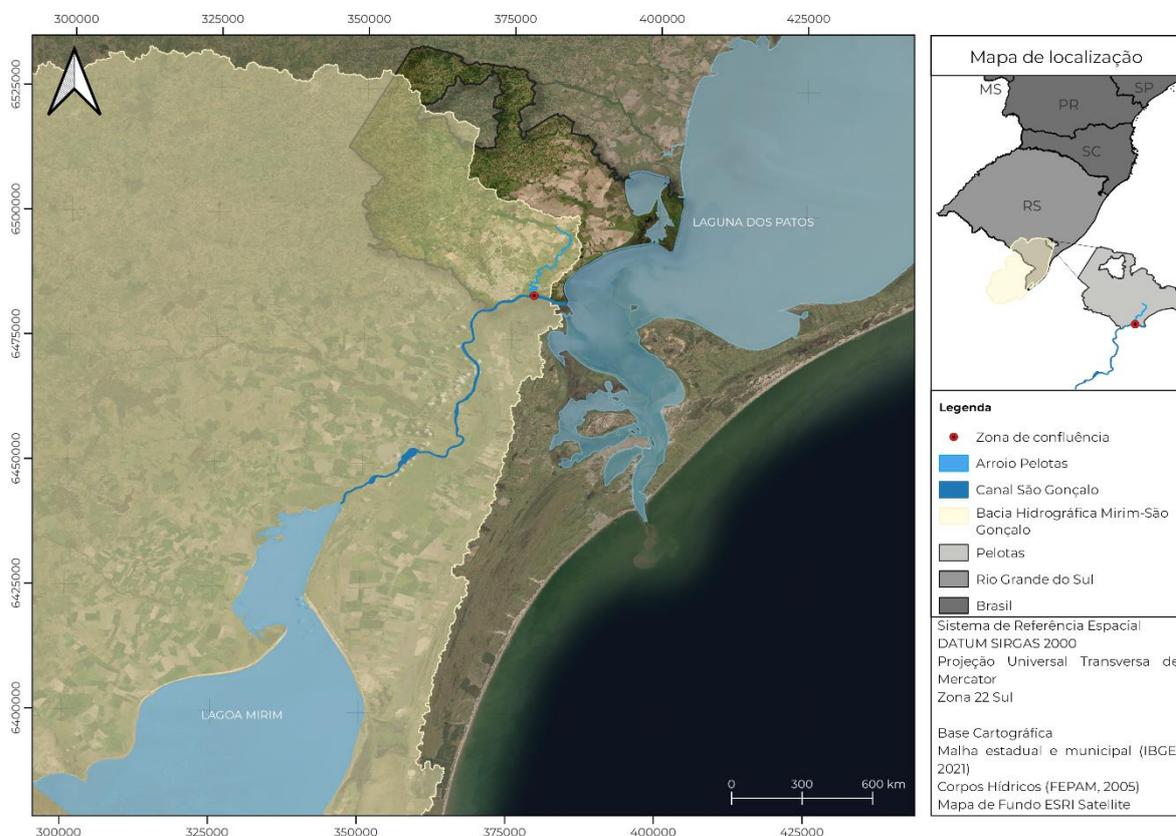


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e zona de confluência.

A zona de confluência encontra-se aproximadamente a 11,72km da barragem do Canal São Gonçalo (mais informações podem ser encontradas através da Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim) 5,44km do Porto de Pelotas (mais informações podem ser acessadas através do site Portos RS) e 6,4Km da desembocadura do canal com a Laguna dos Patos. De acordo com o apresentado na Figura 2, ambos locais de referência encontram-se a montante da zona de confluência.

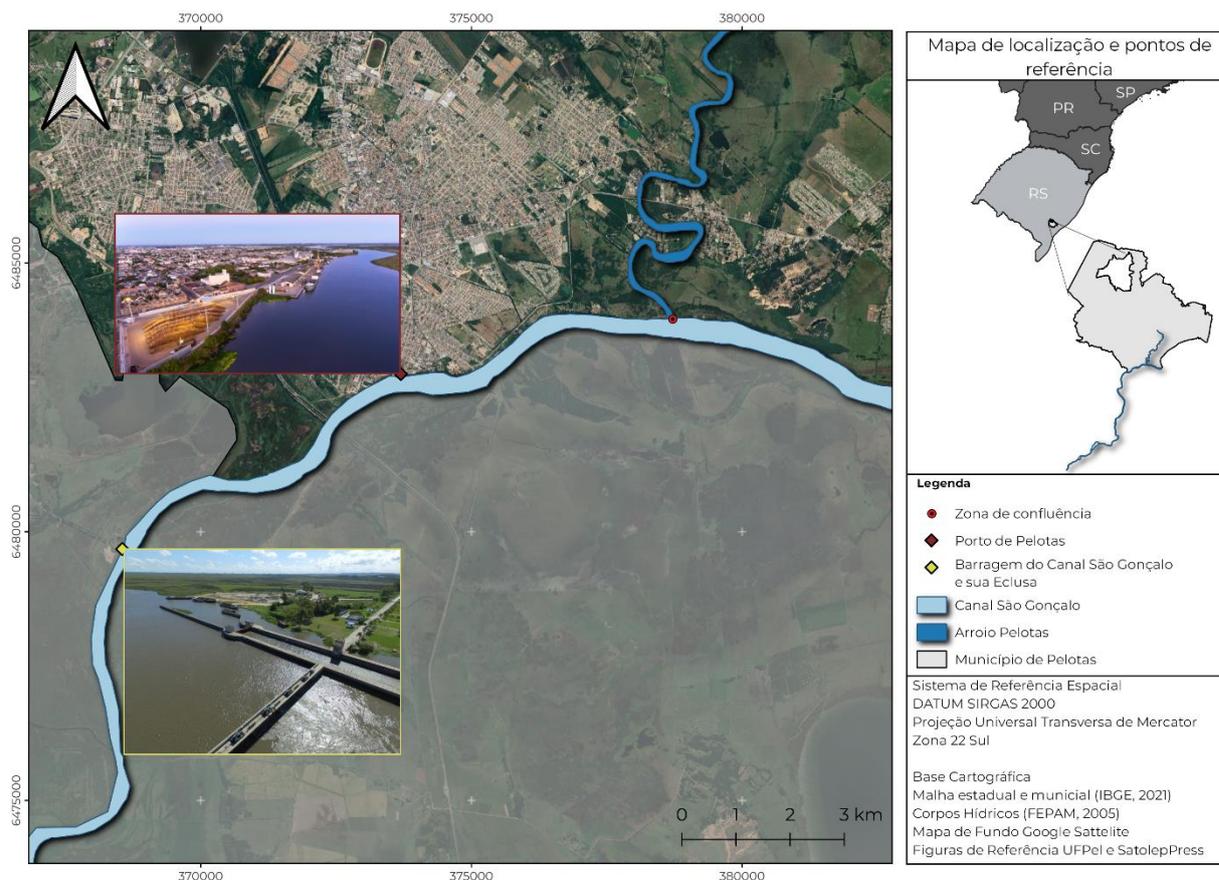


Figura 2 - Localização da zona de confluência e respectivos pontos de referência.

A região de estudo está inserida em uma região de ambiente costeiro, em uma zona do estuário da Laguna dos Patos, que tem ligação com o Canal São Gonçalo e deságua no Oceano Atlântico. As lagoas costeiras são corpos hídricos rasos, com águas predominantemente doces podendo se tornarem salgadas por influências do regime de precipitações e nível do mar, são sistemas separados por barreiras de areia do oceano, que ocupam cerca de 13% das áreas em região costeira no sul do Brasil (KFERFVE, 1986).

O Canal São Gonçalo, é o canal principal da área de estudo, com extensão de 76km de extensão e 240m de largura média, faz ligação da Lagoa Mirim com a

Laguna dos Patos, está inserido na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, que de acordo com a ALM (2023) é uma bacia transfronteiriça, possuindo uma área total de 62.250km² com 47% em território brasileiro e 53% em território uruguaio. Em território brasileiro a bacia abrange mais de 21 municípios como Aceguá, Arroio do Padre, Arroio Grande, Bagé, Candiota, Canguçu, Capão do Leão, entre outros, incluindo o município de Pelotas que possui 90% da sua área inserida na mesma. A bacia possui uma população total estimada em território brasileiro de aproximadamente 755.973 habitantes considerando áreas urbanas e rurais (FERNANDES *et al.*, 2021). Tem seu escoamento influenciado pela barragem-eclusa, estrutura hidráulica fixada no canal desde 1977 (HECK *et al.*, 2012), com finalidade de impedir a intrusão salina no canal e por consequência na Lagoa Mirim, advinda da Laguna dos Patos, garantindo uma reserva de água doce binacional (GOUVÊA *et al.*, 2010; FERNANDES *et al.*, 2021). Devido a existência desta obra e o número de comportas, quando estas encontram-se fechadas, o fluxo sofre variação no seu sentido de escoamento, fazendo com que a direção do curso da água inverta, e ocasione aumento no nível do canal (HARTMANN *et al.*, 1986).

De acordo com Machado (2002), as vazões médias encontradas para o Canal São Gonçalo, nos meses de janeiro e julho, ambos obtidos no ano de 2001, foram de 433,41m³/s e 437,14m³/s, respectivamente. No ano seguinte, para as estações de outono e inverno de 2002, foi identificada vazão máxima para o canal superior a 2.000m³/s, obtida a partir da modelagem com dados de vazão da Lagoa Mirim e Laguna dos Patos (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Durante o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2011, em estudo de caracterização do regime hidrológico de afluentes da Lagoa Mirim, foi observada vazão para o Canal São Gonçalo variando de 200 a >1.400m³/s (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Já em estudo de monitoramento de descarga contínua no canal São Gonçalo pelo método de velocidades indexadas, realizado no período de outubro de 2015 a junho de 2019 em uma seção localizada no município de Pelotas, foram observadas vazões máximas e mínimas, sendo estas 1.861,79m³/s e 157,21m³/s, respectivamente (GONÇALVES *et al.*, 2023).

O Arroio Pelotas, corpo hídrico afluente, que vai ao encontro e deságua no Canal São Gonçalo, forma uma zona de confluência, configurando na principal área de interesse do estudo. O Arroio Pelotas possuiu uma extensão de 99km e largura média de aproximadamente 60m, é o curso d'água principal da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP), que se encontra na Região Hidrográfica do Litoral, uma

sub-bacia da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. Possui uma área de aproximadamente 910km², abrangendo os municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre (MEGIATO, 2011). Considerada a maior Bacia Hidrográfica do município de Pelotas, atualmente é uma das principais fontes de captação de água para o abastecimento público (BARTELS, 2015). Além destes, o Arroio Pelotas é o corpo hídrico com a segunda maior contribuição hídrica afluyente ao Canal São Gonçalo, com vazões médias variando entre 5m³/s e 20m³/s, atrás apenas para o Rio Piratini cujas vazões contribuintes variam de 20m³/s a valores superiores de 60m³/s (MACHADO, 2007).

De acordo com Alvares *et al.* (2013), o clima predominante no estado do Rio Grande do Sul e na região do município de Pelotas, segundo a classificação de Koppen, é do tipo "Cfa", um clima subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente. Apresentando temperaturas que variam de -3 a 18°C para o mês mais frio e são superiores a 22°C para o mês mais quente, e com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, variando de 100 a 170mm por mês. Localizado em região do bioma Pampa (IBF, 2021), com relevo que se configura com altitudes inferiores a 100m (ALVARES *et al.*, 2013).

A Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo compreende as unidades geomorfológicas do Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense, no qual, há maior altitude, contrária a região próxima ao litoral, com elevações e declividades inferiores, características da Planície Costeira (BARTELS, 2015), a qual possui altitudes que variam de -15 a 509m (POSSA, 2022). E a partir destas províncias há uma predisposição aos processos erosivos, desagregação e transporte do sedimento na região do Escudo e devido as declividades reduzidas na Planície, há favorecimento para redução da velocidade do fluxo e com isto, a deposição de sedimento com partículas mais finas (MEGIATO, 2011).

3.3 Estudos Pré-existentes

O Canal São Gonçalo e o Arroio Pelotas, são corpos hídricos que possuem estudos com enfoque na qualidade da água, avaliação de transporte de sedimento e levantamentos batimétricos, uma vez que ainda é incipiente estudos com o enfoque na hidrodinâmica da confluência entre eles. Deste modo, para melhor compreensão

da área de estudo, fez-se o levantamento das principais análises já realizadas nestes ambientes, os quais serão a seguir descritos.

A partir da avaliação de áreas de inundação do Canal São Gonçalo, observando imagens TM-Landsat 5, Hartmann *et al.* (1986) identificaram que a precipitação e as ações do vento são os principais fatores que influenciam na variação da velocidade do escoamento e descarga líquida do Canal São Gonçalo. Além disso, verificaram que os ventos no quadrante norte, em evidência com direção nordeste (NE), em épocas de cheia são prevaletentes na região do Canal São Gonçalo, favorecendo o escoamento das águas para Laguna dos Patos e provocando a redução da vazão do Canal São Gonçalo, além deste, os autores apontam que a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos, quando encontram-se com nível de água mais elevado, introduzem ao canal devido a baixa declividade e a influência dos ventos, deste modo os níveis de água do canal são influenciados pelas duas lagoas.

Seguido, Hartmann e Harkot (1990), em estudo de aporte de sedimento do Canal São Gonçalo, evidenciaram que com o aumento gradativo da velocidade do fluxo houve diminuição do nível de água do canal e ocorrência de processos erosivos e de transporte do sedimento. Além disso, ressaltam que estudos de aporte e quantificação de sedimentos na região são de difícil execução e análise, devido à grande influência dos fatores meteorológicos que ocorrem de forma brusca e atípica.

Machado (2002) através de uma avaliação da qualidade da água do Canal São Gonçalo, evidenciou o recebimento de grande quantia de poluentes e nutrientes provenientes dos arroios e rios que nele deságuam, visto que estes corpos hídricos afluentes drenam grandes áreas agrícolas e urbanas. Além disso, o autor destaca a poluição provenientes de lançamentos de esgotos advindos da área urbana do município de Pelotas, e salienta que as águas coletadas a montante da barragem do Canal São Gonçalo são de melhor qualidade que as águas coletadas à jusante, devido aos fatores já descritos, assim como devido a intrusão salina da Laguna dos Patos.

Ainda neste contexto, Souza (2015), realizou uma avaliação hidroquímica das águas do canal, onde evidenciou variação espacial e temporal da qualidade da água, salientando forte contribuição a degradação do corpo hídrico. Além disso, em condições de alta pluviosidade, a autora verificou o favorecimento aos processos de lixiviação e escoamento superficial, que acarreta no transporte de poluentes para o

interior do corpo hídrico e, por fim aponta que o canal apresenta agravamento ao longo dos anos.

No estudo realizado por Gonçalves *et al.* (2021), referente a granulometria do sedimento de fundo do Canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas, foi identificada grande variabilidade da distribuição granulométrica, independente da variabilidade espacial e temporal. Isto se deve, aos diferentes tipos de sedimentos escoados da área urbana do município que o margeia, transportados pelo canal de drenagem pluvial (SANCHES FILHO *et al.*, 2017). Além disso, Gonçalves *et al.* (2021) relatam que o tipo de amostrador utilizado influencia na uniformização das amostragens e frequência das mesmas.

O Arroio Pelotas é um corpo hídrico de extrema importância para a região em aspectos sociais, econômicos e culturais, de acordo com Pelotas Turismo (2022) o Arroio Pelotas é considerado patrimônio cultural do Estado desde 2002, uma vez que este foi o principal ambiente onde estavam dispostas charqueadas no período que compreende os anos de 1801 a 1900, sendo o principal corpo hídrico delimitante das matas ciliares ao município de Pelotas. Devido a sua localização, no ano de 2009, em um estudo de análise do estado trófico na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, Fia *et al.* (2009) evidenciaram teores elevados de fósforo e por consequência o índice de estado trófico no arroio visto que o mesmo recebe parte da poluição gerada no município de Pelotas. Na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP), já foram realizados estudos que evidenciaram que este ambiente possui diferentes graus de fragilidade ambiental, devido a devastação de suas matas ciliares e de suas áreas de preservação permanente, o que indiretamente influencia na sua dinâmica e qualidade (MEGIATO, 2011; NEVES, 2012).

No ano de 2015, Silveira realizou estudo de caracterização de solos e sedimentos do Arroio Pelotas, observando que as áreas de lavoura, que margeiam o arroio, possuem solos predominantemente arenosos, sendo este a principal fonte de transporte de sedimento para o arroio (SILVEIRA, 2015). Seguido deste, outros estudos foram desenvolvidos no corpo d'água em questão, com enfoques relacionados estudos hidrológicos, geomorfológicos e solos, como a verificação da aplicação de modelagem hidrológica para estimativa de cheias na Bacia Hidrográfica do Arroio Cadeia sub-bacia da BHAP, em que o hidrograma unitário instantâneo de Clark e Nash foram os que apresentam melhor eficácia no ambiente analisado (STEINMETZ, 2017); mapeamento geomorfológico que identificou predominância da

classe de Morros com Topos Convexos e Vertentes Suaves no Planalto Uruguaio Sul-riograndense, já na Planície e Terras Baixas Costeiras, a classe predominante foi a de Planícies Lagunares, ocupando cerca de 35% e 15% do total da área da BHAP, respectivamente (MEGIATO E MOURA, 2019); e verificação da capacidade de uso e propensão agrícola de terras de propriedades rurais, em que foi verificado limitações de seus usos devido a pouca profundidade do solo e o risco de erosão, devido a declividade e a textura superficial do solo (SUZUKI et al., 2021), abrangentes das áreas que compreendem a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas.

3.4 Hidráulica

A fim de compreender a dinâmica de escoamento dos corpos hídricos, faz-se necessário a caracterização física (elementos geométricos) e hidráulica, uma vez que, as zonas de confluências são consideradas áreas com significativa influência às mudanças morfológicas ocasionadas pelas interações hidráulicas no canal fluvial (VESTANA e KOMINECK, 2021), conforme descrito a seguir:

- Elementos geométricos do canal

As seções transversais independem do seu formato, possuem elementos geométricos que a compõem e que são de grande importância para efetiva compreensão de como está ocorrendo o escoamento. De acordo com Yuan *et al.* (2021), a geometria do corpo hídrico e a vazão, são os principais fatores que afetam a estrutura do fluxo, ocorrência ou não de fenômenos internos, assim como na dinâmica de transporte de sedimento e morfologia do leito. Desta forma, os elementos geométricos são definidos, como:

Área molhada (A): parte da seção transversal que é ocupada pelo líquido;
Perímetro molhado (P): comprimento relativo ao contato do líquido com o conduto;
Largura superficial (B): largura da superfície em contato com a atmosfera;
Profundidade (y): altura do líquido acima do fundo do canal;
Profundidade hidráulica (yh): razão entre a área molhada e a largura superficial (BAPTISTA e COELHO, 2010, p. 190).

Os mesmos autores expressam que os elementos geométricos característicos de uma seção estudada, podem ser obtidos a partir da seção usual (Figura 3).

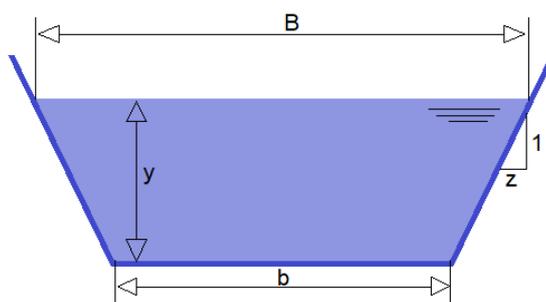


Figura 3 – Ilustração de seção usual para canais naturais: trapezoidal.

Considerando o formato de uma seção qualquer, faz-se necessário a aplicação das equações apresentadas na Tabela a seguir para definir seus elementos geométricos.

Tabela 1 – Elementos geométricos da seção.

Elementos	Área	Perímetro Molhado	Raio Hidráulico	Largura Superficial	Profundidade Hidráulica
Equações (trapézio)	$(b + Zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$	$b + 2Zy$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2Zy}$

b – largura de leito; y – profundidade; Z – inclinação de talude.

Fonte: adaptado de BAPTISTA e COELHO, 2010.

Além destes, a declividade (I) é um parâmetro característico da razão entre o desnível e a distância horizontal, importante para a compreensão do escoamento e respectivas gravidades locais (BAPTISTA E COELHO, 2010). Pode ser obtida conforme os seguintes passos:

- i. Determinação das cotas de fundo e características hidráulicas entre as seções transversais, separadas pela distância ΔX ;
- ii. Determinação das velocidades médias de escoamento nas respectivas seções transversais;
- iii. Aplicação da equação de Bernoulli entre as seções, qual permitirá a determinação da declividade da linha de energia, sendo ela:

$$I = \frac{\left(z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g}\right) - \left(z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g}\right)}{\Delta X} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

I – declividade da linha de energia (m/m);

z e y – elementos geométricos (m);

V – velocidade média de fluxo da respectiva seção transversal (m/s);

g – aceleração gravitacional (9,815m/s²).

- Fórmula de Manning

A partir da caracterização geométrica, é possível determinar a vazão, definida pelo volume que está sendo escoado em um determinado intervalo de tempo numa seção. De acordo com Lyra *et al.* (2010), com os parâmetros geométricos (área molhada, raio hidráulico e declividade do canal) e hidráulicos (vazão) dos corpos hídricos, é possível obter o coeficiente de rugosidade de Manning, aplicando a equação de Manning (Eq. 1), empregada para cálculos hidráulicos relativos a canais naturais e artificiais (BAPTISTA e COELHO, 2010). Além disso, esta equação pode ser utilizada para determinar a resistência do fluxo com relação à rugosidade do canal fluvial (CHOW, 1959; OLIVEIRA *et al.*, 2021), considerado um dos métodos mais empregados para estimar a velocidade de escoamento em canais naturais (CHOW, 1959; SZYMANSKI *et al.*, 2022). O equacionamento da fórmula padrão de Manning e respectivo da obtenção da velocidade de fluxo, podem ser expressas conforme a seguir disposto:

$$Q = \frac{1}{n} A R h^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \therefore \quad V = \frac{1}{n} R h^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

Q – vazão escoada (m³/s);

n – coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional);

A – área molhada (m²);

Rh – raio hidráulico (m);

I – declividade do canal (m/m);

V – velocidade do fluxo (m/s).

Os dados de vazão poderão ser obtidos através da aplicação desta equação, quando se tem o conhecimento de todos os elementos da mesma, assim como através de medições com equipamentos específicos, apresentados na seção 4.2.

Para a obtenção do coeficiente de Manning, Chow (1959) apresenta quatro diferentes orientações, uma vez que, não há um método exato para determinação do coeficiente n. Estes métodos são:

1. Estimativa através da análise dos fatores que influenciam o coeficiente de rugosidade de Manning (incrementação), sendo eles: rugosidade da superfície de acordo com tamanho e forma dos grãos de sedimento, em que, grãos finos resultam

em n baixos e grãos grosseiros resultam em n alto; vegetação, qual ocasiona redução na capacidade do canal e retarda o fluxo; irregularidade do canal; alinhamento do canal; assoreamento e limpeza; obstrução; tamanho e forma do canal; preparo e descarte; mudança sazonal; material suspenso e carga de leito. A partir destes fatores é possível obter o coeficiente de rugosidade pela equação apresentada a seguir, qual foi desenvolvida por Cowan.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5 \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

n_0 – valor básico para um canal reto, uniforme e liso;

n_1 – valor adicionado a n_0 para corrigir o efeito de irregularidade da superfície;

n_2 – valor para variação na forma e tamanho do canal na seção transversal;

n_3 – valor para obstruções;

n_4 – valor para vegetação e condições de fluxo;

m_5 – fator de correção para meandros do canal.

Os valores mencionados acima podem ser obtidos de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores para o cálculo do coeficiente de Manning pelo método de Cowan.

Condições do Canal		Valores	
Material Envolvido	Terra/solo		0,020
	Rocha	n_0	0,025
	Cascalho Fino		0,024
	Cascalho Grosso		0,028
Liso	0,000		
Grau de Irregularidade	Insignificante/Pequeno	n_1	0,005
	Moderado		0,010
	Severo		0,020
Variações da seção transversal	Gradual		0,000
	Alternando	n_2	0,005
	Ocasionalmente		0,010 – 0,015
	Alternando		0,010 – 0,015
Frequentemente	0,000		
Efeito Relativo das obstruções	Desprezível		0,010 – 0,015
	Insignificante/Pequeno	n_3	0,020 – 0,030
	Apreciável		0,040 – 0,060
Severo	0,005 – 0,010		
Vegetação	Baixa	n_4	0,010 – 0,025
	Média		0,025 – 0,050
	Alta		0,050 – 0,100
	Muito Alta		1,000
Grau de Sinuosidade	Insignificante/Pequeno		1,150
	Apreciável	m_5	1,300
	Severo		1,300

Fonte: adaptado de CHOW, 1959.

Este método realiza a utilização de dados de coeficiente de rugosidade considerando cada um dos fatores que influenciam no coeficiente de rugosidade (ARCEMENT e SCHNEIDER, 1989), deste modo não levando em consideração um determinado tamanho de partícula exclusivamente, e sim as condições gerais do canal previamente definidas, as quais, de acordo com Coon (1998), são baseadas no estudo de Ramser (1929), devido sua similaridade nos valores dos fatores dispostos na Tabela 2. Porém a partir do material envolvido considerado, pode-se inferir que este método é aplicável a canais que possuem sedimento grosseiros compostos por partículas de cascalho, que se referem aqueles com diâmetros superiores a 2mm.

2. Tabela de valores típicos para canais com diferentes condições Chow (1959) apresenta coeficiente de rugosidade para canais com diferentes características estruturais e materiais, sendo eles: condutos fechados fluindo parcialmente cheio; canais alinhados ou construídos; canais escavados ou dragados; canais naturais, obtidos a partir de ensaios e medições em campos. Já Baptista e Coelho (2010), apresentam coeficiente de rugosidade para canais artificiais e naturais, sendo este último apresentado na Tabela 3, levando em consideração seu tipo e características de leito e vegetação, não avaliando diretamente os sedimentos de fundo.

Tabela 3 – Coeficiente de rugosidade para canais naturais.

Tipo	Características	Rugosidade		
		Mínima	Normal	Máxima
Canais de pequeno porte em planície (B < 30m)	Limpos	0,025	0,033	0,045
	Trechos lentos	0,050	0,070	0,080
Canais de pequeno porte em montanhas (B < 30m)	Leito desobstruído	0,030	0,040	0,050
	Leito com matacões	0,040	0,050	0,070
Canais de grande porte (B > 30m)	Seção regulares	0,025	-	0,060
	Seções irregulares	0,035		0,100
	Pastagens	0,025	0,030	0,035
Planícies de inundação	Culturas	0,020	0,040	0,050
	Vegetação densa	0,045	0,070	0,160

Fonte: adaptado de BAPTISTA e COELHO, 2010.

3. Estimativa do coeficiente de rugosidade a partir da granulometria. A expressão mais usual empiricamente para a avaliação do coeficiente de rugosidade a partir da granulometria da superfície de corpos hídricos, em leitos mais

homogêneos e com materiais mais grosseiros é a de Meyer-Peter e Muller (FRENCH, 1986; BAPTISTA e COELHO, 2010), compostos por partículas de sedimento variando de 0,4 a 30,0mm (MEYER-PETER e MULLER, 1948), expressa conforme equação a seguir.

$$n = 0,038 \times d_{90}^{\frac{1}{6}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

d_{90} – diâmetro da peneira (m), correspondente à passagem de 90% do material (g).

4. Utilização de coeficiente de rugosidade conhecidos para determinados canais, em que, para este, deve-se realizar a coleta de dados da geometria da seção e hidráulicos.

Salienta-se a existência de variados métodos dispostos na literatura referentes a determinação do coeficiente de rugosidade, porém dentre os métodos apresentados, foi utilizado o de Meyer-Peter e Muller, sendo este o mais usual, no qual os diâmetros característicos encontrados no presente estudo, são compatíveis com os tamanhos das partículas utilizadas nos testes de desenvolvimento e aplicação da equação.

- Fórmula de Darcy-Weisbach

Equação considerada como a “fórmula universal de perda de carga”, denominada equação de Darcy-Weisbach, utilizada para caracterização dos escoamentos dos fluxos (PORTO, 2006), ou seja, este equacionamento expressa matematicamente as características do escoamento uniforme em condutos livres (BAPTISTA e COELHO, 2010), podendo ser expressa de acordo com Chow (1959) conforme apresentado a seguir.

$$f = \frac{8 \times g \times Rh \times I}{v^2} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que,

f – força de atrito;

g – aceleração gravitacional (9,815m/s²);

Rh – raio hidráulico (m);

I – declividade do canal (m/m);

V – velocidade do fluxo (m/s).

- Fórmula de Chezy

A fórmula de Chezy é um equacionamento desenvolvido pelo engenheiro francês Antoine de Chezy em 1769, considerado como inovador na fundamentação de um equacionamento para análise do fluxo de água uniforme em canais abertos (CHOW, 1959), ou seja, em condutos livres (BAPTISTA e COELHO, 2010), indicado para utilização em escoamentos turbulentos rugosos (PORTO, 2006). A fórmula pode ser expressa em termos da velocidade do fluxo, que a partir da utilização da equação da continuidade resulta na equação fundamental do escoamento permanente uniforme em canais, conforme equacionamento a seguir.

$$V = C \times \sqrt{R_h \times I} \quad \therefore \quad Q = C \times A \times \sqrt{R_h \times I} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

V – velocidade do fluxo (m/s);

R_h – raio hidráulico (m)

I – declividade do canal (m/m);

C – fator de resistência ao fluxo “Chézy”.

De modo empírico o fator de Chezy pode ser expresso de acordo com a seguinte equação:

$$C = \sqrt{\frac{8 \times g}{f}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

C – fator de resistência ao fluxo “Chezy”;

g – aceleração gravitacional (9,815m/s²);

f – fator de atrito, dependente da rugosidade relativa e do número de Reynolds.

De acordo com Chow 1959, o fator de resistência de Chezy “C” pode ser determinado por três fórmulas, sendo elas:

I. Fórmula de G.K., desenvolvida em 1869 por Ganguillet e Kutter a partir de dados de medição de vazão em canais, medições de rios, etc., produzindo resultados satisfatórios, expressa conforme a equação a seguir.

$$C = \frac{41,65 + \frac{0,00281}{I} + \frac{1,811}{n}}{1 + \left(41,65 + \frac{0,00281}{I}\right) \times \frac{n}{\sqrt{R_h}}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

I – declividade do canal (m/m);

n – coeficiente de rugosidade de Manning;

R_h – raio hidráulico (m);

II. Fórmula de Bazin, desenvolvida em 1897 a partir de experimentos de medição em canais de pequeno porte, expressa de acordo com a equação a seguir.

$$C = \frac{157,6}{1 + \frac{m}{\sqrt{R_h}}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

m – é o coeficiente de rugosidade propostos por Bazin, conforme a Tabela 4;

R_h – raio hidráulico (m).

Tabela 4 – Coeficiente de Bazin.

Descrição do canal	Coeficiente de Bazin – “m”
Cimento muito liso de madeira planejada	0,11
Madeira não aplainada, concreto ou tijolo	0,21
Silhar, alvenaria de entulho ou alvenaria pobre	0,83
Canais de terra em perfeito estado	1,54
Canais de terra em condições normais	2,36
Canais de terra em condições ásperas	3,17

Fonte: adaptado de CHOW, 1959.

A partir de comparações das variações média das fórmulas de Chezy, apresentadas na Tabela 5, realizadas pelo Distrito de Conservação de Miami, permitiu verificar que as fórmulas que apresentaram variações médias mais baixas (próximas de 1) indicam melhor aplicabilidade quanto as fórmulas que apresentaram variação média mais alta, dito isto, foi concluído que a fórmula de Kutter é a mais indicada para utilização, visto que apresenta uma variação média de 3,58%.

Tabela 5 – Comparação de variação de Chezy C, Bazin m e Kutter n.

Medidas		Valores médios			Variações médias, %		
		C	M	N	C	m	n
Séries de Bazin	6		0,185	0,0127		5,2	1,1
	7		0,156	0,0120		3,4	1,0
	8		0,142	0,0116		3,8	2,5
	9		0,199	0,0130		10,6	1,2
	10		0,144	0,0117		3,4	1,4
	11		0,129	0,0113		3,7	3,8
	12		0,324	0,0151		1,6	1,0
	13		0,311	0,0148		2,7	1,2
	14		0,321	0,0150		4,4	1,8
	15		0,715	0,0209		4,2	1,2
	16		0,711	0,0212		5,7	1,6
	17		0,721	0,0215		6,7	2,2
	32		0,424	0,0168		1,8	0,4
	33		0,444	0,0171		3,1	1,2
	44		0,658	0,0195		18,6	8,8
	46		0,704	0,0205		11,1	5,7
	Rio Miami em Tadmor, Ohio, 1915-1916		67,4*	1,98	0,0816	4,08	10,9
Bogue Falia River Miss, 1914		68,3*	4,09	0,0704	24,20	35,7	22,2
Canais de drenagem de Arkansas, Arca, 1915		65,9*	2,12	0,0324	3,18	4,8	1,6
Rio Mississipi, Carrolton, La., 1912			1,33	0,0320	1,30	5,4	8,0
Rio Mississipi, Carrolton, La., 1913			1,46	0,0334	2,80	12,8	2,8
Rio Irrawaddy, Birmânia			1,35	0,0332	4,10	28,0	6,2
Rio Volga em Samara, Rússia			1,58	0,0311	1,87	18,0	4,1
Rio Volga em Zhiguly, Rússia			1,76	0,0363	18,80	36,5	5,0
Variação Média					7,54	9,67	3,58

Fonte: adaptado de CHOW, 1959.

III. Fórmula de Powell, desenvolvida em 1950 a partir da fórmula logarítmica para a rugosidade dos canais artificiais e experimentos laboratoriais em canais lisos e rugosos, expressa conforme o equacionamento a seguir:

$$C = -42 \log \left(\frac{C'}{4R} + \frac{\epsilon}{Rh} \right) \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

C' – coeficiente de Powell;

Rh – raio hidráulico (m);

R – número de Reynolds.

ϵ – rugosidade do canal de Powell, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de rugosidade do canal de Powell.

Descrição do canal	ϵ de Powell	
	Novo	Antigo
Superfície de cimento puro	0,0002	0,0004
Calhas de tábuas não aplainadas	0,0010	0,0017
Canais revestidos de concreto	0,004	0,006
Terra, reta e uniforme	0,04	
Canais de terra dragados	0,10	

Fonte: adaptado de CHOW, 1959.

Levando-se em consideração a utilização do número de Reynolds (Re) para aplicação da fórmula de Powell e respectiva determinação do coeficiente de Chezy. Determina-se o número de Reynolds como um equacionamento utilizado para determinação do tipo de regime de escoamento de um determinado curso d'água, este podendo ser, laminar ou turbulento, a partir das forças que ocorrem e caracterizam o escoamento (SILVA et al., 2017), conforme equação a seguir.

$$Re = \frac{VxD}{\nu} \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

V – velocidade do fluxo (m/s);

D – diâmetro (m);

ν – viscosidade cinemática.

Deste modo infere-se que para $Re < 2000$, o escoamento é caracterizado como laminar, $2000 < Re < 2300$, o escoamento é caracterizado em transição e $Re > 2300$ o escoamento é caracterizado como turbulento.

- Número de Froude Interno

O Número de Froude Interno pode ser definido como um parâmetro que analisa o comportamento das vazões dos cursos d'água a partir da interação entre as forças inerciais e de empuxo (RAMÓN et al., 2013).

Este parâmetro é determinado, de acordo com Gualtieri et al. (2019), como:

$$F_i = \frac{V}{(y \times g')^{0,5}} \quad \therefore \quad g' = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \times g \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

V – velocidade média (m/s);

y – profundidade hidráulica da seção (m);

g' – aceleração gravitacional reduzida (m/s²);

$\Delta\rho$ – diferença de densidade dos rios (kg/m³);

ρ_0 – densidade de água (1000kg/m³);

g – aceleração gravitacional (9,815m/s²).

De acordo com Gualtieri et al. (2019) diferentes estudos dispostos na literatura evidenciam que os contrastes de densidade podem ser parametrizados

através da aplicação e análise do número de Froude, que afetam as taxas de mistura, assim como nos padrões hidrodinâmicos dos fluxos em zonas de confluência (RAMOS *et al.*, 2019). Porém deve-se ressaltar que estes estudos, não instruem sobre como as diferenças de velocidade e densidade, atrito do leito e morfologia do rio, assim como a alteração de largura do canal, contribuem para a mistura na zona de confluência dos rios.

Estudos como de Ramón *et al.* (2013, 2016), analisaram a mixagem e circulação em zona de confluência de rios com ângulo de junção superior a 90°, caracterizando uma confluência assimétrica e após ligando-se ao reservatório sinuoso. Para investigar a interação entre as forças de inércia e de empuxo nesta zona de confluência, foi utilizado em ambos os estudos o número de Froude interno, em que, assumiram que a montante da confluência, o movimento interno era dominado pelas forças inerciais quando $Fi > 1$, o oposto a jusante, onde encontrava-se com $Fi < 1$ e as forças de empuxo dominam o movimento, quando $Fi \approx 1$, assumi-se que as duas forças estão muito similares.

- Número de Froude

O Número de Froude é um parâmetro adimensional descritivo das condições hidráulicas de um canal aberto, o qual embasa a compreensão de como o canal conduz as condições do fluxo em termos de controle e direção de propagação (HAGER E CASTRO-ORGAZ, 2017), caracterizando o mesmo quanto a energia, obtida a partir da equação 8, conforme descrito por Batista e Coelho (2010).

$$Fr = \frac{V}{(y \times g)^{0,5}} \quad \text{Eq. 8}$$

Em que:

V – velocidade média (m/s);

y – profundidade hidráulica (m);

g – aceleração gravitacional (9,815m/s²).

Caracterizando o fluxo em supercrítico quando $Fr > 1$, em condição de fluxo subcrítico $Fr < 1$ e quando $Fr \approx 1$ considera-se regime característico com condições de fluxo crítico (TREGASKIS *et al.*, 2022).

- Razão de Fluxo de Momentum

De acordo com Best e Reid (1984) e Best (1987) a razão do fluxo de momento (M_r) é um fator que interfere e reflete os comportamentos de características da hidrodinâmica dos fluxos. Rhoads e Kenworthy (1995) em estudo de estrutura de fluxo em confluência assimétrica identificaram que há formação de células helicoidais e deslocamento da interface de mistura, quando a razão do fluxo de momento excedia 1. Já quando este fator se encontrava abaixo de 1 as células helicoidais ficam fracas e em lados opostos a interface de mistura. Com o M_r encontra-se próximo de 1 é evidenciada a zona de superelevação perto do meio da confluência e as células helicoidais convergentes ocorrem dentro do fluxo imediatamente a jusante da confluência. Deste modo, à medida que M_r aumenta, o fluxo do tributário penetra mais na confluência, forçando a interface de mistura entre os dois fluxos. Este parâmetro pode ser obtido conforme equacionamento apresentado a seguir.

$$M_r = \frac{(\rho_2 \times Q_2 \times V_2)}{(\rho_1 \times Q_1 \times V_1)} \quad \text{Eq. 9}$$

Em que:

M_r – razão de fluxo de momento;

ρ – densidade da água (1000 kg/m³);

Q – vazão escoada (m³/s);

V – velocidade média do fluxo (m/s).

Subscritos 1 e 2 – respectivos do rio principal e rio tributário.

De acordo com Serres *et al.* (1999), a razão de fluxo de momento é um parâmetro determinístico da dominância do fluxo tributário quando o M_r encontra-se superior a 1, ou a dominância do fluxo principal quando o M_r encontra-se menor que 1, conforme Tabela a seguir.

Tabela 7 – Resultados da Razão de Fluxo de Momento.

M_r	Dominância
>1	Fluxo tributário
<1	Fluxo principal

M_r – razão de fluxo de momento.

Riley e Rhoads (2012) apontam que à medida que a razão de fluxo de momento e o ângulo de junção aumentam para uma zona de confluência assimétrica (y), conforme o formato da zona de confluência em estudo, a penetração do fluxo tributário em relação ao fluxo principal aumenta, conseqüentemente a zona de separação aumenta, e a zona de estagnação do fluxo muda para o fluxo principal e a camada de cisalhamento quando presente, afasta-se da entrada do fluxo tributário lateral.

3.5 Hidrodinâmica em zonas de confluência

As bacias hidrográficas se desenvolvem ao longo dos anos, a partir das ramificações e conexões dos corpos hídricos de grande, médio e pequeno porte. Essas conexões, chamadas de confluências, possuem diferentes formas (KENNEDY, 1984; RHOADS, 1987; RICHARDS, 1980; ROY e ROY, 1988; ROY e WOLDENBERG, 1986). Além de apresentarem variações no ângulo de junção e padrões tridimensionais complexos, são verificadas variações nas vazões dos cursos d'água e no transporte de sedimentos, resultando em morfologias de leito distintas (BEST, 1986; ROY e SERRES, 1989; RHOADS *et al.*, 2009; SUN *et al.*, 2022).

Estas zonas de confluências (ZC) possuem diferentes classificações (Figura 4), sendo: (I) simétricas, geralmente referente a confluências em forma de Y, formada quando dois corpos hídricos afluentes juntam-se e formam um rio único de maior dimensão a jusante da confluência (BRISTOW *et al.*, 1993; MOSLEY, 1976; RHOADS e JOHNSON, 2018); (II) assimétricas, representativa das confluências em forma de y, formada quando ocorre a penetração do fluxo do tributário angulado lateralmente para um canal principal que flui em linha reta (BEST, 1987; MOSLEY, 1976; RILEY e RHOADS, 2012; RILEY *et al.*, 2015; RHOADS e KENWORTHY, 1995) e; (III) curva de meandro, representativa do encontro que ocorre quando um canal tributário reto entra em um rio sinuoso no ápice de uma curva com um ângulo de junção de 90°, caracterizada como um tipo de confluência análoga a uma confluência assimétrica com um tributário lateral que se junta a um canal curvo (ROBERTS, 2004; RILEY e RHOADS, 2012; RILEY *et al.*, 2015). Um dos primeiros a realizar experimentos e estudos nesse tema, Taylor (1944), analisou as combinações dos encontros dos escoamentos de cursos d'água e divisão de fluxo

de água em canais abertos e fechados, contribuindo para os avanços nesse assunto até a atualidade.

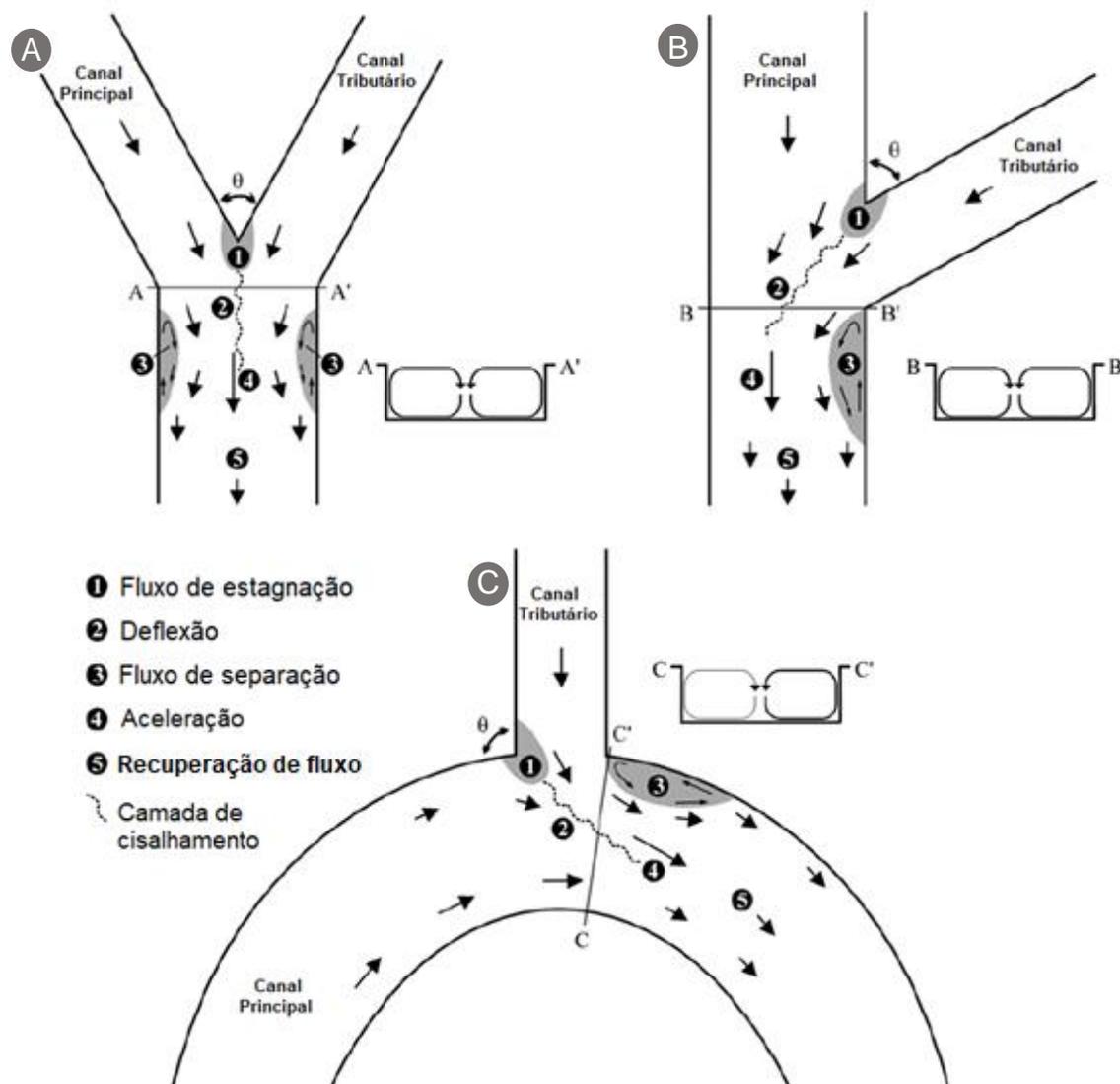


Figura 4 – Modelo conceitual de estrutura de fluxo em confluências (A) simétrica (Mosley, 1976; Best, 1986), (B) assimétrica (Best, 1987) e (C) meandro confluyente (Roberts, 2004).

Fonte: Adaptado de RILEY e RHOADS, 2012, p. 86.

Segundo Riley e Rhoads (2012), há comportamentos hidrodinâmicos comumente relatados em confluências com estrutura de fluxos distintos: 1) zona de estagnação do fluxo próximo e/ou no canto da junção a montante, que ocorre devido a deflexão de ambos os fluxos na junção fluvial e é o reflexo da confluência fluvial constituídas por sedimentação fina (silte e argila) e remanso fluvial; 2) área de deflexão de fluxo onde cada escoamento de fluxo (tributário) entra na confluência, é

constituída pela convergência dos fluxos, caracterizada como a área de maior poder erosivo condicionada ao valor angular da confluência e sua sedimentação é composta por diâmetros maiores; 3) zona de separação de fluxo nos cantos da junção a jusante, representa a ressurgência e depósito de sedimentação média (areia); 4) aceleração de fluxo (velocidade máxima), a jusante da zona de confluência, é responsável pelo entalhamento do talvegue e redirecionamento do fluxo, qual é deslocado para a margem contrária do canal principal em relação à entrada do tributário, promovendo erosão e alargamento; 5) área de recuperação gradual de fluxo a jusante da zona de separação de fluxo, ou seja, a jusante da zona de confluência, deslocando os detritos erodidos no encontro central dos fluxos; 6) camadas de cisalhamento distintas e/ou interface de mistura entre os dois fluxos convergentes, é caracterizada por uma estrutura de fluxo bem organizada, com elevada tensão de atrito, e intensa turbulência (BEST, 1987, p. 28; VESTANA e KOMINECKI, 2021), respectivamente representadas na Figura 4.

De acordo com Yuan *et al.* (2021), estas zonas de confluências são caracterizadas como nós críticos da rede de drenagem, importante de serem estudadas, uma vez que, a partir da compreensão hidrodinâmica é possível aplicar melhores estratégias e medidas mitigatórias frente a evidências de, por exemplo, inundações (submersão da planície de inundação) (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Algumas das estratégias usuais para identificação e controle de eventos extremos, são: monitoramento do nível da água, e acompanhamentos das variações hidrológicas com condições de alto ou baixo fluxo, respectivamente; verificação de processos erosivos, no qual, em condições de baixo fluxo é verificada erosão devido as profundidades de água dos corpos hídricos menores, que influenciam maior interação do fluxo com o fundo e margens; verificação de erosão em condições de alto fluxo, onde os processos erosivos são majoritariamente provocados por velocidades mais elevadas, transporte e deposição de sedimentos (VESTANA e KOMINECKI, 2021); monitoramento da qualidade da água (TANG *et al.*, 2018) e a partir deste, verificação do transporte e possíveis processos de aceleração de mistura de contaminantes, influenciados pelo padrão de fluxo nas zonas confluentes (KILIC e ARAL, 2009; TONG *et al.*, 2022); verificação de velocidades das correntes e dominâncias de um fluxo em relação ao outro, para identificação de possíveis trocas de materiais entre os diferentes cursos d'água confluentes (HUI *et al.*, 2022); verificação da variação do leito (diferença da elevação do leito com relação ao lado

direito e esquerdo dos corpos hídricos), que influenciará na troca de impulso entre dois fluxos e na mistura destes (RAMOS, *et al.*, 2019).

A interface de mistura dos fluxos pode ser desenvolvida a partir das diferenças de características da água e de concentração de sedimento em suspensão, também influenciada pelo tipo de geometria e morfologia da confluência e pela razão de fluxo de momento dos fluxos confluentes (CONSTANTINESCU *et al.*, 2011; CONSTANTINESCU *et al.*, 2012; CONSTANTINESCU *et al.*, 2016; GUALTIERI *et al.*, 2019). A mistura entre os fluxos na zona de confluência também é influenciada pela diferença de densidades da água (sendo a salinidade e temperatura da água fatores interferentes) entre os rios confluentes, em que, águas com maior densidade escoam abaixo da superfície e fluem por baixo do curso d'água menos denso, até atingir situação de neutralidade, em que, a densidade da água de ambos os escoamentos sejam iguais, neste momento os escoamentos espalham-se horizontalmente no curso d'água (RAMÓN *et al.*, 2013).

Neste contexto, processos erosivos também são evidenciados devido a ocorrência de tensão de cisalhamento no ápice da curvatura das confluências com seus diferentes ângulos de junção, resultantes do aumento da aceleração do fluxo e da vazão (RILEY e RHOADS, 2012), assim como a partir da intrusão de fluxo dominante dos cursos tributários aos rios principais, identificado através da análise das razões de fluxo de momento (RHOADS E JOHNSON, 2018), conforme mencionadas anteriormente.

Luz *et al.* (2020) apontam que estudos que analisam as características das zonas de confluência e suas respectivas influências, para melhor compreensão, também observam variações de comportamento dos fluxos e a ocorrência de fenômenos nestas zonas de junção e, por consequência, nas áreas a jusante destas. Os autores destacam que, durante análise das condições hidrológicas é possível observar uma variação no comportamento fluviométrico dos cursos d'água confluentes, e que, dependendo da dominância de escoamento (obtido pela análise da razão de fluxo de momento) poderá ocorrer comportamento de curva de meandro confluyente, sendo possível também identificar as variações de velocidade de fluxo e lâminas d'água em eventos distintos. Além deste, é observada troca de dominância e penetração de fluxo entre os rios, ocorrência do transporte e deposição de sedimento, e os diversos padrões e interfaces de mistura dos fluxos nas

confluências, também discutido e relatado por Li *et al.* (2022), Riley *et al.* (2015), Santos *et al.* (2022c) e Yuan *et al.* (2022).

Portanto, pode-se verificar que esses estudos contribuem e apontam extrema importância para o entendimento da confluência entre cursos d'água e seus efeitos para definir sobre a gestão dos recursos hídricos, visando à preservação do meio ambiente e ecologia dos mesmos.

3.6 Métodos para levantamento de dados fluviométricos

Existem diferentes metodologias e equipamentos para medição e levantamentos de dados de vazão e velocidade de fluxo da água, como por exemplo, os métodos diretos volumétricos (SANTOS *et al.*, 2001) e métodos indiretos como: flutuadores (EPA, 1997), calha Parshall (PATRÍCIO *et al.*, 2021), vertedores (MOURA *et al.*, 2020), entre outros. Além destes, o método convencional que emprega molinete hidrométrico e o método acústico com os Perfiladores de Corrente Acústica por Efeito Doppler (ADCP), são os mais usuais (ANA, 2022). Deste modo, neste tópico será apresentada, brevemente, a metodologia empregada por ambas às estratégias para medição e obtenção de dados.

- Método Convencional com Molinete Hidrométrico

O molinete hidrométrico, confeccionado por uma hélice e um velocímetro em forma de torpedo (CARVALHO, 2008b), é um equipamento de medição convencional utilizado para a determinação da vazão de cursos d'água, que consiste na determinação da área da seção de medição (largura x profundidade) e a velocidade do escoamento na mesma, a partir do método de rotação da hélice em torno do eixo, no sentido do fluxo da água que abre e fecha um circuito elétrico, contando o número de voltas durante um intervalo de tempo fixo (SANTOS *et al.*, 2001).

Para a aplicação deste método de medição pontual, a seção de interesse é dividida em verticais, em que, o número de verticais é definido de acordo com a largura do rio, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Distância recomendada entre verticais para a aplicação do método de molinete hidrométrico.

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
≤ 3,00	0,30
3,00 – 6,00	0,50
6,00 – 15,00	1,00
15,00 – 30,00	2,00
30,00 – 50,00	3,00
50,00 – 80,00	4,00
80,00 – 150,00	6,00
150,00 – 250,00	8,00
≥ 250,00	12,00

Fonte: Adaptado de DNAEE, 1967.

A partir da definição de seção e o número de verticais, o equipamento realiza a medição na vertical da velocidade de escoamento da água por unidade de tempo de forma pontual. As posições que o molinete deve ser disposto para medição é determinada de acordo com a profundidade do rio em relação a cada vertical, conforme o disposto na Tabela 9.

Tabela 9 – Posição do molinete na vertical em relação a profundidade.

Profundidades (m)	Posição na vertical em relação a profundidade
0,15 a 0,60	0,6×P
0,60 a 1,20	0,2×P e 0,8×P
1,20 a 2,00	0,2×P; 0,6×P e 0,8×P
2,00 a 4,00	0,2×P; 0,4×P; 0,6×P e 0,8×P
Acima de 4,00	S; 0,2×P; 0,4×P; 0,6×P e 0,8×P e F.

P – profundidade do rio (m); S – superfície do rio; F – fundo do rio.

Fonte: ANA, 2022.

O cálculo da velocidade do escoamento é obtido a partir do número de rotações registrado pelo equipamento combinado com as características do molinete e da hélice utilizados disponibilizados pelo fabricante, conforme equações 10 e 11.

$$N = \frac{n}{T} \quad \text{Eq. 10}$$

Em que:

N – número de rotações por segundo;

n – número de rotações registradas durante o intervalo de tempo;

T – intervalo de tempo de medição de velocidade (segundos).

$$V = (a \times N) + b \quad \text{Eq. 11}$$

Em que:

V – velocidade do fluxo pontual (m/s);

a e b são constantes características da hélice fornecidas pelo fabricante do molinete.

Para a obtenção do dado de vazão, é necessário obter a velocidade média da vertical a partir das velocidades pontuais em profundidade, conforme o apresentado na Tabela a seguir.

Tabela 10 – Cálculo da velocidade média na vertical.

Nº de pontos	Cálculo da Velocidade Média (V_m) na vertical
1	$V_m = V_{0,6}$
2	$V_m = \frac{(V_{0,2} + V_{0,8})}{2}$
3	$V_m = \frac{(V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})}{4}$
4	$V_m = \frac{(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8})}{6}$
6	$V_m = \frac{V_s + 2 \times (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f}{10}$

V_m – velocidade média (m/s); V_i – velocidade na posição i (m/s); V_s – velocidade média na superfície (m/s); V_f – velocidade média no fundo (m/s).

Fonte: JACCON, 1984.

Posteriormente, os dados de área da seção e velocidade média devem ser inseridos na equação da continuidade (STREETER, 1978), conforme equação 12.

$$Q = A \times V_m \quad \text{Eq. 12}$$

Em que:

Q – vazão (m³/s);

A – área da seção (m²);

V_m – velocidade do fluxo médio da seção (m/s).

- Método Acústico com ADCP – Acoustic Doppler Current Profilers

Os Perfiladores de Corrente Acústica por Efeito Doppler são equipamentos dotados de sensores, também denominados transdutores, que variam a sua quantidade e frequência em hertz (Hz que equivale a um ciclo por segundo), responsável pela emissão, recepção e distância de alcance do pulso sonoro, de acordo com a marca e modelo do equipamento, (SIMPSON, 2001), empregados para medir a velocidade da água.

Os ADCPs são empregados para além da medida da velocidade da água, também acessar outras diferentes variáveis como: profundidade, nível de água e, indiretamente a vazão, compondo a análise de todas as características hidrodinâmicas que ocorrem nos processos fluviais (TOMAS *et al.*, 2016). Para isto,

o equipamento utiliza o princípio físico do efeito Doppler (CARVALHO, 2008b), qual realiza a emissão de pulsos sonoros em uma frequência conhecida na coluna de água (chamado de ping), que provoca um retroespalhamento acústico, detectável pelas pequenas partículas em suspensão e transportadas no campo de fluxo. Parte da energia acústica (pulso sonoro) é absorvida ou refletida em diferentes direções e parte é retroespalhada para o ADCP (eco de retorno) com uma frequência variada (Figura 5) (SIMPSON, 2001).

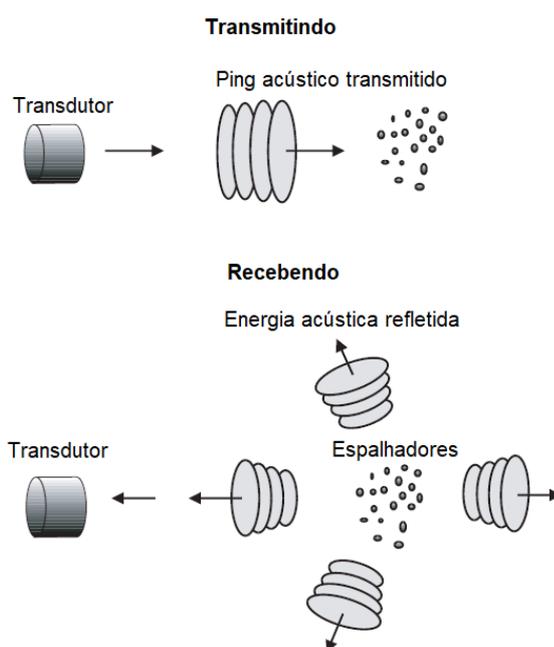


Figura 5 – Pulso acústico emitido sendo retroespalhado e retornado como um eco ao emissor.
 Fonte: Adaptado de SIMPSON, 2001.

Conforme os transdutores recebem o eco de retorno, a unidade de processamento de sinal, integrada ao equipamento, calcula o deslocamento Doppler usando uma forma de autocorrelação (o sinal é comparado consigo mesmo) (SIMPSON, 2001). O deslocamento existe apenas quando a fonte de emissão do pulso e os receptores se movem em relação uns aos outros (RD INSTRUMENTS, 1989). Devido ao ADCP transmitir e receber o pulso acústico, o deslocamento Doppler é dobrado, obtido conforme equação 13.

$$F_D = 2 \times F_S \times \left(\frac{V}{c}\right) \quad \text{Eq. 13}$$

Em que:

F_D – frequência do desvio Doppler (Hz);

F_S – frequência de transmissão do som de uma fonte estacionária (Hz);

V – velocidade relativa entre a fonte sonora e o receptor da onda sonora (a velocidade com que o observador caminha em direção à fonte sonora) (m/s);

C – velocidade do som (m/s).

Para Gonçalves (2020), o efeito doppler pode ser apontado como a mudança de frequência do som que ocorre ao longo da movimentação do pulso sonoro emitido, estando presente também em ondas eletromagnéticas, como por exemplo, através de ondas de rádio. O mesmo autor também ressalta que os ADCPs de uso dinâmico, referem-se aos equipamentos que podem ser utilizados em movimento, afixado em estruturas navegais como barcos, caiaques, entre outros, assim como de maneira automatizada, onde o observador controla a embarcação de maneira remota através de rotas pré-configuradas.

Dentre os diversos modelos de equipamentos para o estudo será utilizado o ADCP modelo *RiverSurveyor® M9*, da Sontek, composto por 9 feixes, com uma faixa de perfil de velocidade de 0,2 a 30m destinado seu uso em barcos, dispositivos flutuantes em movimento ou estacionários em canais rasos e profundos. Este equipamento possui dois conjuntos de transdutores (beans) de medição de velocidade, ambos na configuração Janus (realizando medições simultaneamente em diferentes direções) – quatro transdutores de 3,0 MHz e quatro transdutores de 1,0MHz, além de um feixe acústico vertical de 0,5MHz (ecosonda) que fornece dados de profundidade (SONTEK, 2011), conforme ilustração da Figura a seguir.



Figura 6 – Componentes do ADCP M9 da Sontek.
Fonte: Adaptado de SONTEK, 2011.

A determinação de qual transdutor e frequência utilizada pelo equipamento varia de acordo com características do ambiente que se tem interesse em realizar as medições, uma vez que, quanto menor a frequência da onda sonora emitida pelo transdutor do equipamento, maior será o comprimento de onda logo, maior será o seu alcance, maior sua capacidade de perfilagem total e menor a discretização dos dados (SONTEK, 2011). Deste modo, o ADCP, durante a medição realiza a identificação das características ambientais e define qual frequência mais adequada para medição, de pixel a pixel, realizando a medição dos componentes por cada beam, em direções distintas, conforme ilustração a seguir.

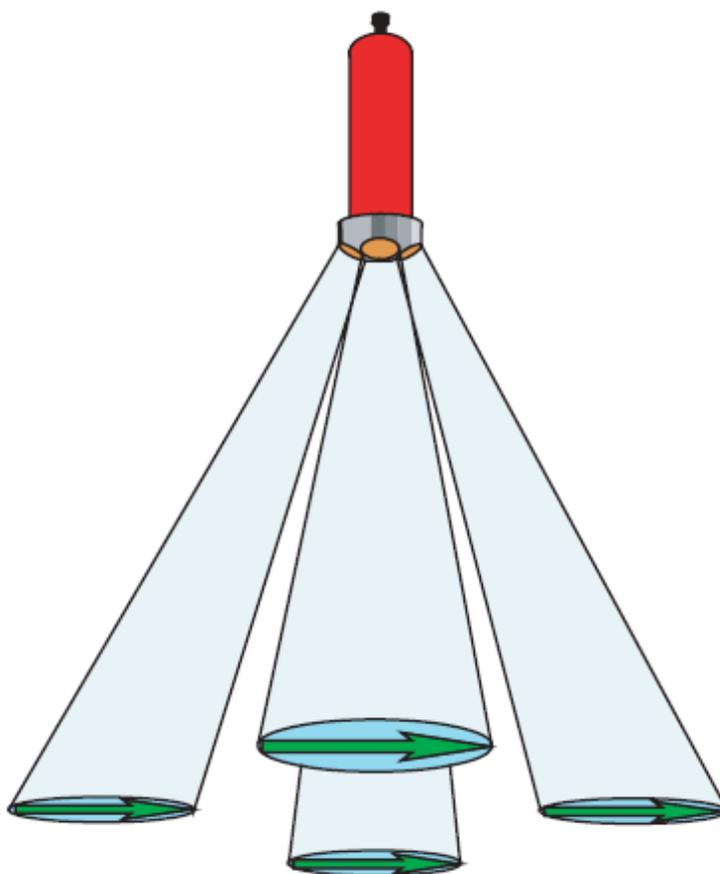


Figura 7 – Ilustração de Perfilador de Corrente Acústica por Efeito Doppler realizando a medição em um campo de velocidade homogêneo.
Fonte: Adaptado de SIMPSON, 2001.

Os perfiladores acústicos possuem limitações próprias, referente às áreas de medição (Figura 8), obtidas a partir de estimativas realizadas pelo próprio equipamento, integrando informações estabelecidas pelo fabricante, sendo elas: (I) estimativa superior (topo), refere-se a profundidade de montagem do equipamento mais uma curta distância (blanking), ou seja, profundidade do perfilador até o início do perfil de velocidade medida; (II) estimativas de bordas de início e final da medição, que correspondem as áreas em que não foi possível de serem acessadas e perfiladas pelo ADCP, ocasionadas por profundidades reduzidas ou obstruções de margens, como vegetações, sendo a velocidade da água e, portanto, a vazão estimadas com base nas medições de velocidade e profundidade nas bordas; (III) estimativa inferior, referente ao fundo do corpo hídrico, devido a potencial contaminação de dados nas últimas células, devido ao potencial de interferência de lóbulo lateral no final do perfil, deixando estas áreas sem medição (SONTEK, 2011).

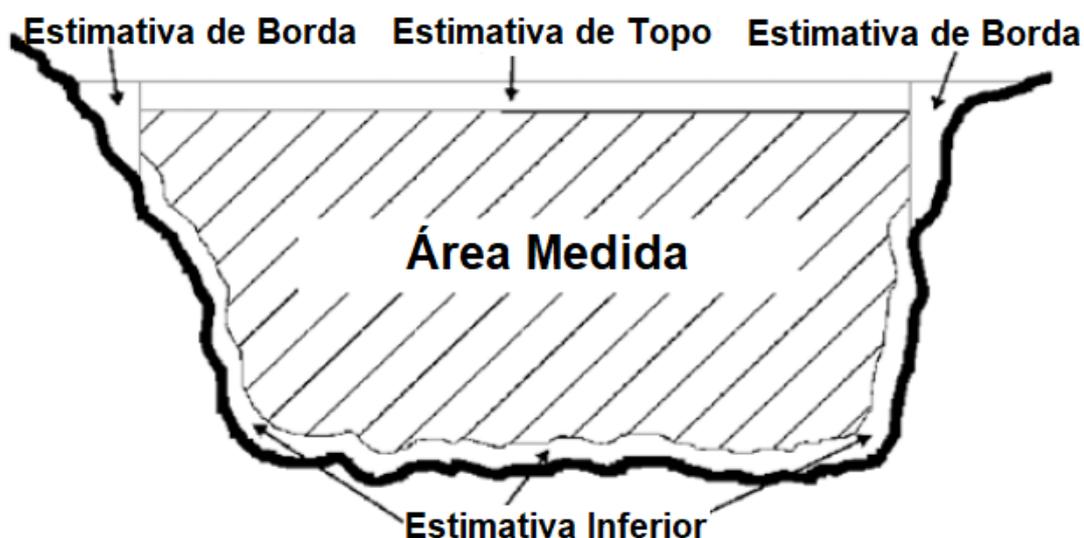


Figura 8 – Área de medição do ADCP e respectivas áreas limitantes obtidas por estimativa.
Fonte: Adaptado de SONTEK, 2011.

Deste modo, pode-se inferir que a descarga total (vazão) é calculada pela soma da Estimativa da Borda Inicial, Estimativa do Topo, Área Medida, Estimativa Inferior e Estimativa da Borda Final.

Perante as metodologias apresentadas salienta-se que foi utilizado o método dinâmico com ADCP, para medição e obtenção de dados de velocidade de fluxo e respectiva vazão. Este método foi selecionado pelas vantagens de automatização, qualidade e segurança em relação ao uso do método convencional, que exige um tempo específico para se ter uma efetiva medição, uma vez que, as medições são realizadas à vau sendo necessário fácil acesso; que o corpo hídrico possua profundidade e largura significativamente pequenas; vazão e velocidade de escoamento baixas, como forma de viabilizar a segurança durante a medição.

3.7 Métodos de caracterização de sedimentos

A escolha do equipamento para amostragem de sedimento de fundo dependerá das características do sedimento, volume e eficiência necessários, para atender os objetivos estabelecidos.

Existem diferentes metodologias e respectivas aplicações para caracterização granulométrica. O método mais usual para a análise granulométrica do material do leito (de fundo), de acordo com BRASIL (1970), pode ser com a composição de várias estratégias que se complementam. Tarefas de peneiramento, o uso de

densímetro para estimativa da densidade de solução com sedimento em suspensão empregando pipetagem, tubo de acumulação visual e tubo de remoção pela base, fazem parte desse procedimento. Para a situação presente, aplicou-se os métodos de peneiramento associada à pipetagem, considerando as características dos sedimentos presentes nos corpos hídrico, a disponibilidade dos equipamentos e a viabilidade de aplicação dos métodos. Deste modo, a seguir está apresentada a metodologia utilizada neste estudo.

- Método de Peneiramento

É um método utilizado para determinação das características granulométricas de amostras de material de fundo (sedimento), usualmente destinado como método específico de caracterização da areia. Tem como método de aplicação a utilização de uma série de peneiras padrão que são empilhadas em ordem decrescente, que posteriormente são posicionadas e fixadas em um aparelho mecânico denominado Ro-tap, que realiza a agitação para o efetivo peneiramento da amostra de sedimento.

De acordo com Carvalho (2008a) para se ter uma efetiva execução da análise granulométrica pela agitação no equipamento, deve-se utilizar aproximadamente 100 gramas de material previamente seco em estufa à uma temperatura máxima de 105°C. Após a agitação com vibração e por um intervalo de tempo pré-definidos, o material retido em cada peneira é pesado e anotado para posteriores cálculos de interesse e construção da curva granulométrica, que possui como ordenadas a porcentagem de sedimento que passam pelas peneiras e como abscissas, o diâmetro das peneiras padronizadas, geralmente correspondente às aberturas de malhas de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,177; 0,125; e 0,062 mm.

- Método de Pipetagem

Este método de análise granulométrica é utilizado para a determinação de sedimentos finos, constituído de diferentes etapas de procedimentos. Inicialmente deve ser preparada uma solução dispersante com diluição de água destilada. Para determinadas situações, é necessária a correção do dispersante, para então ser realizada a preparação da amostra e ensaio propriamente dito. A execução se dá

pela retirada de alíquotas da solução, constituída da fração silte-argila e solução dispersante, nos tempos definidos a partir da Lei de Stokes (BATCHELOR, 1967), que relaciona o tamanho de uma partícula sólida (sedimento) e a velocidade da sua decantação em um meio fluido (água), determinado através da equação 14, seguido de secagem e pesagem das cápsulas com sedimento, conforme descrito por CPRM (2015).

$$v_s = \frac{g \times d^2 \times (\rho_s - \rho_l)}{18 \times \eta} \therefore v_s = \frac{h}{t} \therefore t = \frac{18 \times \eta \times h}{g \times d^2 \times (\rho_s - \rho_l)} \quad \text{Eq. 14}$$

Em que:

v_s – velocidade de partícula (cm/s)

t – tempo de queda (s);

η – viscosidade da água (g/cm/s);

h – altura de queda (cm);

g – aceleração gravitacional (cm/s²);

d – diâmetro da partícula (cm);

ρ_s – densidade do sólido (g/cm³);

ρ_l – densidade do líquido (g/cm³).

Independente da metodologia utilizada para obtenção de dados de granulometria dos sedimentos de fundo, segundo Carvalho *et al.* (2000), a construção da curva granulométrica e respectiva análise são de grande importância para a obtenção da porcentagem dos diâmetros característicos do material do leito de um rio para 10, 35, 50, 65 e 90%, que são denominados como D_{10} , D_{35} , D_{50} , D_{65} , e o D_{90} , uma vez que, o índice representa o percentual da amostra com diâmetro de partícula menor ou igual ao valor encontrado para determinado diâmetro característico, ou seja, esta curva indica a porcentagem do sedimento para cada diâmetro dos grãos.

Os diâmetros característicos podem ser incluídos na classificação proposta pela American Geophysical Union (AGU), apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 – Faixa de tamanho de sedimento em milímetros segundo AGU.

Faixa de tamanho de sedimento			
Sedimento		ϕ	Tamanho (mm)
Pedregulhos muito grosseiros		-12/-11	2048 - 4096
Pedregulhos grossos	Pedregulhos	-11/-10	1024 - 2048
Pedregulhos médios		-10/-9	512 - 1024
Pedregulhos finos		-9/-8	256 - 512
Paralelepípedos grosseiros	Paralelepípedos	-8/-7	128 - 256
Paralelepípedos finos		-7/-6	64 - 128
Cascalho muito grosso		-6/-5	32 - 64
Cascalho grosso		-5/-4	16 - 32
Cascalho médio	Cascalho	-4/-3	8 - 16
Cascalho fino		-3/-2	4 - 8
Cascalho muito fino		-2/-1	2 - 4
Areia muito grossa		-1/0	1 - 2
Areia grossa		0/1	0,5 - 1
Areia média	Areia	1/2	0,25 - 0,5
Areia fina		2/3	0,125 - 0,25
Areia muito fina		3/4	0,125 - 0,0625
Silte grosso		4/5	0,0625 / 0,031
Silte médio	Silte	5/6	0,031 / 0,016
Silte fino		6/7	0,016 / 0,008
Silte muito fino		7/8	0,008 / 0,004
Argila grossa		8/9	0,004 / 0,002
Argila média	Argila	9/10	0,002 / 0,001
Argila fina		10/11	0,001 / 0,0005
Argila muito fina		11/12	0,0005 / 0,00024

Fonte: adaptado de BRUNNER, 2020.

3.8 Pós-Processamento de dados de velocidade

Atualmente, diferentes estudos de levantamento de dados, através de equipamentos acústicos, têm trabalhado com a ferramenta VMT – Velocity Mapping Toolbox (BENNERT, 2018; KONSOER e RHOADS, 2014; RABIU *et al.*, 2021), desenvolvida pela United States Geological Survey (USGS) empregada para o pós-processamento e visualização dos dados, construindo mapeamento único e características dos dados da seção transversal.

De acordo com Parsons *et al.* (2012), após a inserção dos dados no VMT e mapeamento (Figura 9), o processo de construção e visualização dos mapas unificados é realizado em diferentes etapas (Figura 10), sendo estas:

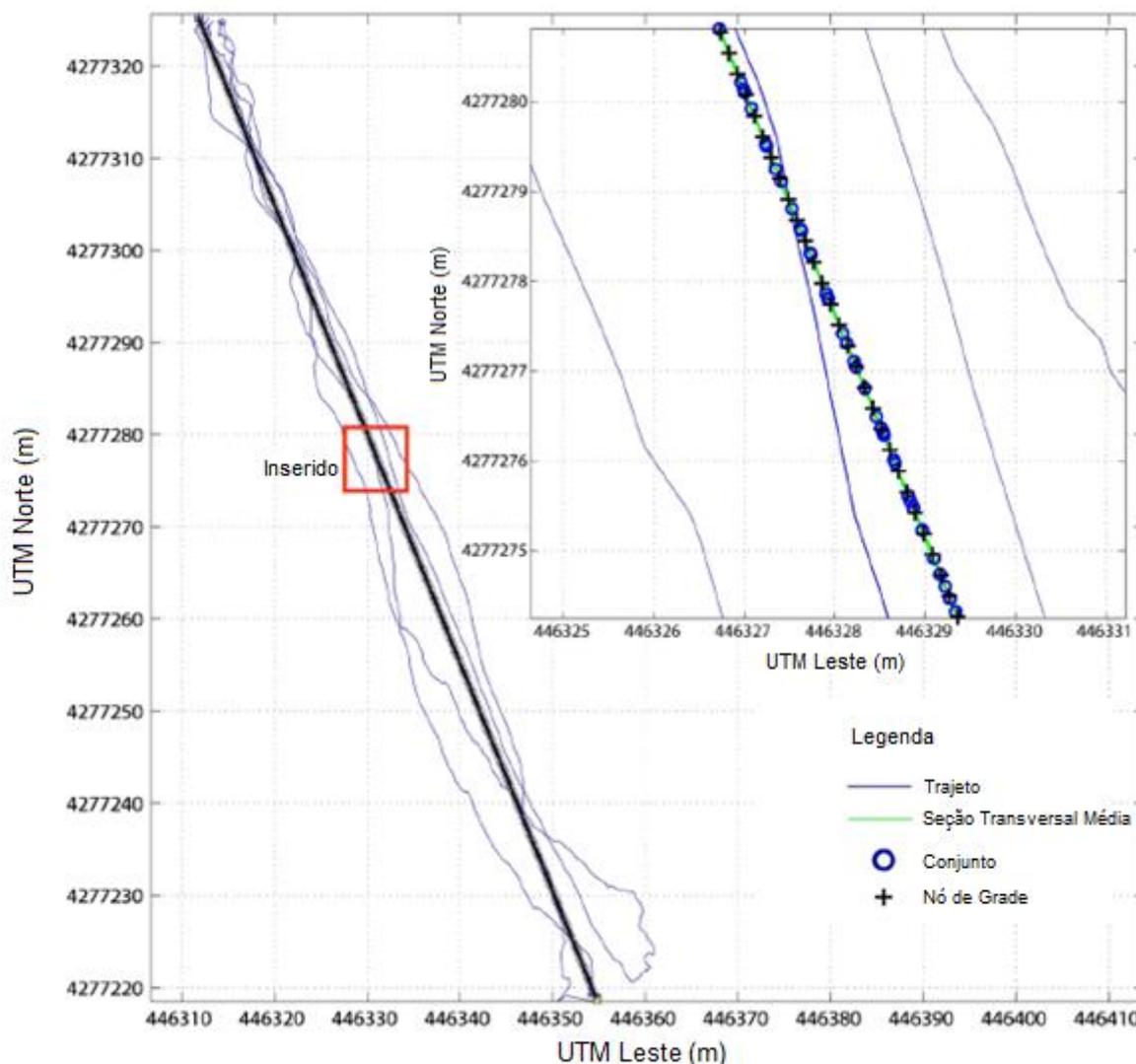


Figura 9 – Exemplos de dados brutos ADCP mapeados para cálculo de linha de seção transversal média.

Fonte: adaptado de PARSONS *et al.*, 2012.

- Primeira etapa

Inicialmente, o VMT realiza a orientação de seção transversal média, sendo os métodos mais usuais: a regressão de mínimos quadrados, que considera as posições do GNSS; e a utilização das coordenadas planas na projeção UTM, na qual são transformadas em coordenadas geográficas. Para isto, são definidas as dimensões horizontal e vertical da seção transversal através da interpolação de dados sobre a grade (Figura 10 (A)).

- Segunda etapa

São projetados individualmente os dados de velocidade, pelo método de projeção anisotrópica (Figura 10 (B)). A fim de corrigir o desvio de posição causado pela medição via embarcação, a projeção dos dados de velocidades é realizada por uma translação ortogonal dos pontos da localização original (X , Y) para os pontos da seção transversal ($X_{\text{projeção}}$, $Y_{\text{projeção}}$). As coordenadas projetadas são resultantes de cálculos que utilizam dados de inclinação e interceptação da linha na seção transversal, e realizadas para cada conjunto de dados de um transecto.

- Terceira etapa

A ferramenta também realiza a correção das velocidades observadas, para aferir as variações do fluxo entre o local observado e o mapeado, sendo possível dimensionar a velocidade do fluxo pela razão da profundidade da coluna de água no ponto de observação e a profundidade da seção transversal média no ponto de observação projetado (Figura 10 (C)). Padronizando na interpolação um espaçamento de 1m, sendo que quanto maior for este espaçamento mais grosseira será a resolução horizontal dos campos de velocidades, e quanto menor for, realizará uma interpolação excessiva do conjunto de dados.

- Quarta etapa

Para a composição da velocidade tridimensional média para cada seção transversal (Figura 10 (D)), é realizada uma média aritmética simples para cada componente básico de velocidade, retroespalhamento acústico e profundidade do leito, seguido deste, a ferramenta rotaciona as coordenadas a fim de transformar os componentes de velocidade com coordenadas básicas em componentes de velocidade no plano da seção transversal, usados para o cálculo da velocidade bidimensional.

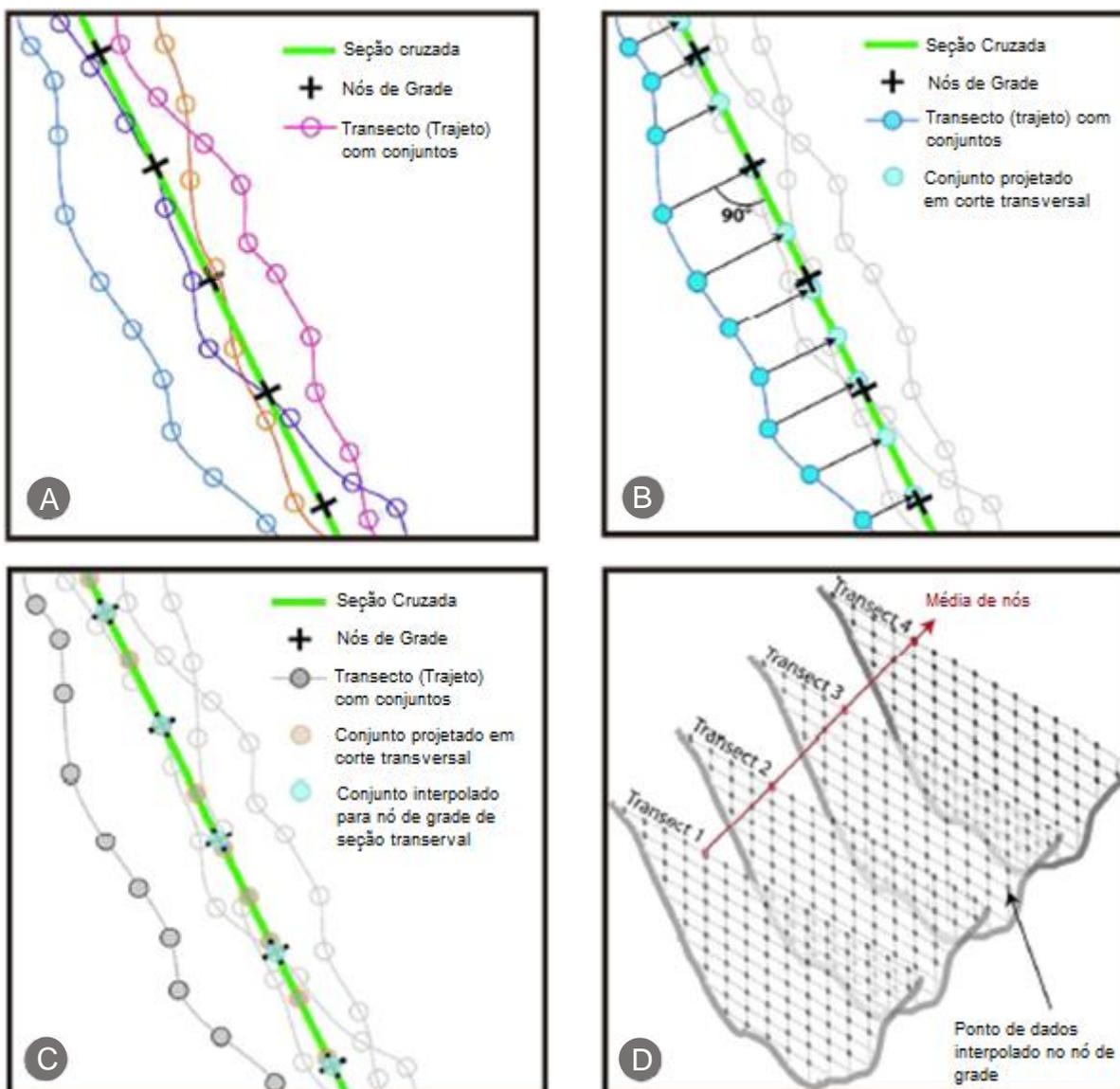


Figura 10 – Representação esquemática do procedimento de média do transecto: (A) definição da orientação média; (B) projeção dos dados para o plano da seção transversal; (C) interpolação de dados; (D) cálculo da média aritmética de todos os transectos.

Fonte: adaptado de PARSONS *et al.*, 2012.

O processamento realizado para a construção dos mapas de contorno da seção transversal média, o qual permite a identificação e análise das velocidades no sentido da corrente (m/s) e os vetores de fluxo secundário (velocidade transversal); e o mapa de visualização do plano, que permite a análise da velocidade média em profundidade, e o comportamento unificado da zona de confluência da área em estudo, são realizados de acordo com o interesse e objetivo de cada estudo. Para este, o processamento realizado será descrito no item metodológico.

4 Materiais e Métodos

4.1 Campanhas e Rede Amostral

Neste estudo foram realizadas três campanhas amostrais, em períodos com condições hidrológicas distintas de baixa (10/01/2022) e alta pluviosidade (21/07/2022 e 04/11/2022). Os dados pluviométricos que antecederam a campanha amostral, e no dia desta, estão apresentados na Tabela 12, os quais foram obtidos concomitante aos dados de nível de água, velocidade e direção do vento junto a estação pluviométrica localizada na barragem do Canal São Gonçalo, identificada como HS-FLU-SG-02 (latitude 31° 48' 39,41"S e longitude 52° 23' 20,00"O), nos meses de janeiro, julho e novembro, disponibilizada no Sistema de Informações Integradas de Recursos Hídricos (SIIRH) (ALM; NEPE-HIDROSSEDI, 2023).

Tabela 12 – Dados da estação meteorológica de monitoramento do dia antecedente e respectivo a saída de campo.

Data	Precipitação acumulada (mm)*	Velocidade média do vento (m/s)	Direção do vento	Temperatura média da água (°C)	NM (cm)	NJ (cm)
10/01/2022	50,8	5,2	37,5 ¹	24,0	58,5	23,6
21/07/2022	477,2	1,7	262,9 ²	12,9	147,9	137,5
04/11/2022	116,2	1,8	173,2 ³	18,9	80,7	ND

NM - Nível médio de água a montante da Barragem Canal São Gonçalo; NJ - Nível médio de água a jusante da Barragem Canal São Gonçalo; * - precipitação acumulada referente aos 30 dias antecedentes a data de medição, ressalta-se que nos dias de medição não ocorreu precipitação; ¹ – direção do vento nordeste (NE); ² – direção do vento oeste (W); ³ – direção do vento sul (S); ND – não deferido devido equipamento estar em manutenção. Nota: com exceção ao dado de precipitação acumulada, os outros dados foram calculados considerando o intervalo de tempo da medição (09:00 às 18:00 e 09:00 às 13:00, respectivamente, sendo este último referente aos dias 21/07/2022 e 04/11/2022).

Fonte: ALM, 2022.

Nas campanhas amostrais foram realizados levantamentos de fluxo com ADCP, amostragem dos sedimentos de fundo e amostragem de água superficial para sua caracterização, em seções transversais previamente definidas. Para a realização das medições, a área selecionada foi subdividida em treze seções transversais, conforme mostrado no mapa da Figura 11.

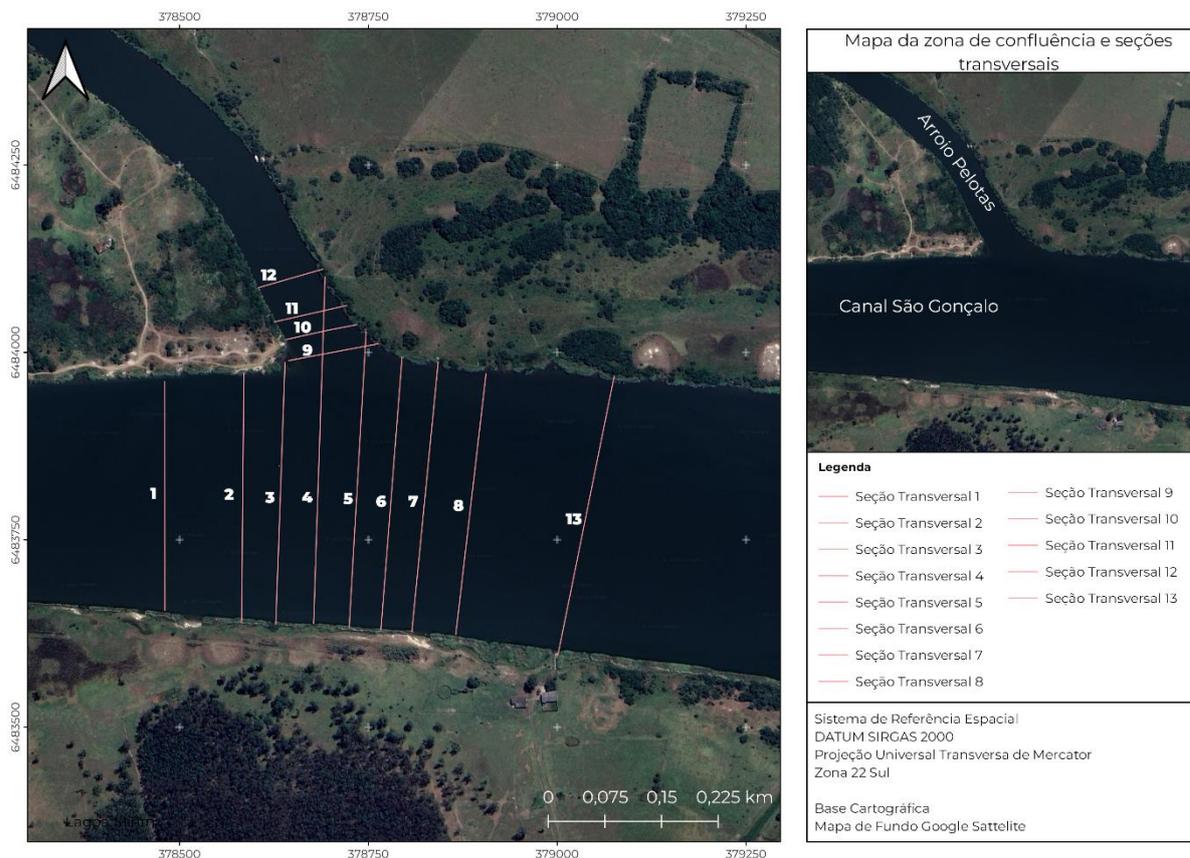


Figura 11 – Distribuição das seções transversais na zona de confluência.

As seções transversais foram definidas considerando a melhor representatividade da zona de confluência entre o Canal São Gonçalo e o Arroio Pelotas, de modo que toda a área de influência estivesse contemplada, definida em aproximadamente 220m a montante e 350m a jusante da confluência. Também foram definidas seções de zonas consideradas padrão, sem a interferência direta da confluência, distribuídas com espaçamentos que variaram de 25 a 150m. Na Tabela a seguir são apresentados descrição e detalhes de posicionamento das seções transversais.

Tabela 13 – Detalhamento das seções transversais.

Seção Transversal	Largura (m)	Coordenadas UTM Margem Esquerda		Coordenadas UTM Margem Direita	
		Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
1	305	6483964.435	378484.780	6483647.809	378481.412
2	315	6483965.622	378585.528	6483636.983	378581.772
3	325	6483980.425	378639.549	6483634.502	378632.575
4	415	6484049.742	378693.980	6483637.180	378677.003
5	385	6484021.725	378746.928	6483631.278	378724.953
6	355	6483985.633	378794.182	6483627.444	378765.512
7	345	6483982.809	378842.096	6483625.781	378807.360
8	345	6483967.543	378905.679	6483620.300	378865.038
9	112	6484008.972	378762.337	6483990.785	378656.264
10	85	6484037.910	378737.003	6484017.444	378644.900
11	84	6484062.060	378720.144	6484041.928	378631.984
12	78	6484110.962	378688.524	6484082.615	378608.879
13	370	6483962.743	379073.847	6483600.058	379003.128

Já para a realização das amostragens de água e de sedimento de fundo, foram estabelecidos quatro pontos amostrais com melhor representatividade, sendo que um destes foi destinado para a amostragem de sedimento de fundo e água superficial, conforme detalhado no mapa apresentado na Figura 12. Na Tabela 14 está explicitado, com detalhes os pontos amostrais.



Figura 12 – Distribuição dos pontos amostrais na zona de confluência (círculo em vermelho).

Tabela 14 – Detalhamento pontos amostrais para coleta de sedimento e água.

Ponto Amostral	Coordenadas UTM	
	Latitude	Longitude
1	6484095.966	378644.239
2	6483962.556	378717.369
3*	6483788.314	378932.252
4	6483796.009	378487.293

* – No Ponto Amostral 3 foram realizadas amostragens de sedimento de fundo e de água subsuperficial.

Os pontos amostrais foram definidos considerando a melhor representatividade da zona de confluência entre o Canal São Gonçalo e o Arroio Pelotas, sendo estes, a montante do Arroio Pelotas (Amostra 1S), no centro da zona de confluência (Amostra 2S), assim como nos pontos de montante (Amostra 4S) e jusante do Canal São Gonçalo (Amostra 3S), distribuídas com espaçamentos de 150m entre o ponto de montante e jusante do Arroio Pelotas e 445m entre os pontos de montante e jusante do canal São Gonçalo. Além da amostragem de sedimento, no ponto de jusante do canal São Gonçalo foi realizada a coleta da água (Amostra 1A), para determinação da salinidade.

4.2 Levantamento de dados de velocidade do fluxo

Para a realização do levantamento de dados de velocidade do fluxo foram feitas medições com ADCP, modelo *RiverSurveyor® M9*, da Sontek.

Neste estudo foram realizadas as medições de forma dinâmica, onde o equipamento de medição foi instalado em um suporte em formato de prancha, similar ao suporte *Hydraboard II*, da Sontek, posicionado com os feixes dos transdutores submersos em água a uma profundidade de 0,10m, fixado em uma embarcação, conforme apresentados na Figura 13. As medições foram realizadas em uma velocidade controlada e possível rastreamento para obter qualidade nas medições. O deslocamento realizado para medição em cada seção transversal teve como referência do trajeto o Bottom-Tracker, ou seja, com rastreamento do fundo.



Figura 13 – Equipamentos componentes para medição de vazão pelo Método Acústico do Efeito Doppler: (A) ADCP M9; (B) Cabo de conexão ADCP/PCM; (C) GPS, suportes de instalação e cabo de conexão GPS/PCM; (D) Módulo de Energia (PCM); (E) Suporte de pilhas PCM; (F) Antenas de Conexão PCM/PC; (G) Prancha de Suporte; (H) Software RiverSurveyor Live.

O equipamento *M9* realiza medições de maneira simultânea e armazena automaticamente em computador conectado. É composto por 9 transdutores, sendo 4 feixes com frequência de 3MHz e 4 feixes com 1MHz responsáveis pela perfilagem da seção transversal e medição da velocidade e 1 feixe central com 0,5MHz que realiza a batimetria vertical da seção, este último utilizado como referência de profundidade. Possui bússola 360° e sensor de inclinação e, sendo assim, permite que o movimento da embarcação com relação às condições superficiais seja compensado (SONTEK, 2015).

A calibração do equipamento foi feita conforme instruções do fabricante. As técnicas, orientações de medição e análise dos dados pós medição com emprego do equipamento *RiverSurveyor® M9*, foram realizadas conforme os padrões da USGS, de acordo com a descrição realizada por Mueller *et al.* (2013).

O Teste de Fundo Móvel, também foi realizado para rastrear a existência ou não, do transporte de sedimento do fundo, e com isso realizar a correção no sentido de deslocamento da embarcação, procedimento este também seguindo descrição realizada por Mueller *et al.* (2013).

Após a obtenção e processamento dos dados via software RiverSurveyor Live, os transectos das seções transversais foram tratados via software QRev (MUELLER, 2016), ferramenta que automatiza a filtragem e a verificação de qualidade dos dados.

4.3 Técnica de amostragem e caracterização do sedimento de fundo

A amostragem do sedimento de fundo foi realizada utilizando-se amostrador do tipo rock-island (Figura 14), que possui recipiente de coleta com dimensões de 16,7cm de altura e diâmetro de bocal com 10,35cm. Com esse equipamento se realiza a amostragem pelo método de arraste no fundo do corpo hídrico e, para tanto o mesmo foi fixado com cabo de aço na embarcação e, antes de iniciar a amostragem, o equipamento foi lançado na água com o cabo afrouxado, quando o mesmo tocou no leito, foi tracionado para que a amostra ficasse guardada no seu interior.



Figura 14 – Amostrador de sedimento de fundo do tipo Rock-Island.

Os procedimentos de amostragem e análises laboratoriais foram realizadas de acordo com as descrições de Santos *et al.* (2001) e Carvalho (2008a). Foram realizadas de modo a extrair a quantidade de material semelhante para todas as verticais e adequada para a realização efetiva de todos os procedimentos determinísticos em laboratório. Posteriormente as amostras coletadas foram separadamente e acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados.

Após a campanha amostral, as amostras foram analisadas e determinadas sua granulometria, em laboratório. O método para análise granulométrica foi definido a partir do tamanho de partícula do sedimento coletado, peneiramento para partículas mais grosseiras e pipetagem para partículas mais finas. Essas determinações e análises seguiram as descrições da CPRM (2015a, 2015b), brevemente apresentados a seguir.

Na Figura 15 é apresentado etapas do método de peneiramento para análise granulométrica do sedimento de fundo grosseiro. Inicialmente foi realizada a transferência do sedimento acondicionado em sacos plásticos para compartimentos de alumínio, levadas a estufa, 105°C até secagem completa, ou seja, até obter massa igual em pesagens em intervalo de tempo sucessivas. Logo após foi realizado o destorroamento dos agregados (desagregação) e respectiva pesagem do sedimento a ser utilizado no processo de peneiramento. Na etapa de peneiramento, a amostra de sedimento, foi colocada para jogo de peneiras (4, 2, 1, 0,710, 0,50, 0,25, 0,125 e 0,063mm), submetidas ao agitador eletromagnético de peneiras por 15 minutos com 8 vibrações por minuto, o que permitiu a separação dos sedimentos de acordo com o diâmetro dos grãos. Material retido em cada peneira foi pesado e o material da última peneira foi submetido ao método de pipetagem.



Figura 15 – Análise granulométrica etapas método de peneiramento: (A) secagem sedimento coletado; (B) destorroamento sedimento; (C) processo de peneiramento em rotap; (D) sedimento retido na peneira de fundo.

Na Figura 16 é apresentada as etapas do método de pipetagem. Com o material restante do método de peneiramento, foram separadas quantias de sedimento fino variando de 1 a 5g, transferidos para becker de plástico de 250mL. Para esta estratégia, foram inseridos 8mL de solução dispersante de hidróxido de

sódio (NaOH) e completado com água até o volume de 200mL, resultando um total de 200 ml de solução composta de sedimento + NaOH + água. Essa mistura foi colocada nos recipientes que compõe o agitador Hamilton Beach (Stirrer), acionado durante 5 minutos em uma velocidade de 16.000rpm para promover agitação. Após a agitação, a solução foi transferida para provetas de vidros de 1000mL, completadas com água até os 800mL. Anterior a pipetagem foram separados, etiquetados e pesados os béqueres de vidro utilizados para cada volume de amostra pipetado. As pipetagens foram realizadas em 6 distintos tempos, definidos a partir da Lei de Stokes (Equação 13), considerando a temperatura de cada amostra durante o ensaio, sendo as 4 primeiras pipetagens na profundidade de 10cm e as 2 últimas na profundidade de 5cm (Apêndice A).

Os recipientes contendo as amostras foram colocados em estufa a 105°C até obtenção de massa constante. Logo após, foram levados à dessecadores. Após resfriadas, as amostras foram pesadas. Também foi obtido 8mL de NaOH, extraído massa seca (submetido à estufa e dessecador) para empregar nos cálculos e obtenção de porcentagem de sedimento fino.



Figura 16 – Análise granulométrica etapas de pipetagem: (A) sedimento fino utilizado; (B) inserção de 8mL de NaOH; (C) Becker preenchido em 200 mL com sedimento + NaOH + água e o agitador ao fundo; (D) proveta completa com água até 800 mL (200 mL de sedimento + NaOH + água); (E) pesagem prévia becker de vidro utilizado para cada pipetagem; (F) pipetagem; (G) secagem pipetado em estufa a 105°C; (H) descanso após estufa em dessecador; (I) visualização plana da solução seca após estufa; (J) dessecador fechado por uma pernoite; (K) pesagem Becker após dessecador; (L) NaOH seco após estufa e dessecador.

Com os dados de massa de sedimentos grosseiros e finos, foi construída a curva granulométrica, conforme Carvalho *et al.* (2000) e Sarmiento e Santos (2020). A curva granulométrica indica a porcentagem, em peso de sedimento, referente aos diâmetros dos grãos (SARMENTO e SANTOS, 2020). Constitui-se pelos diâmetros respectivos dos grãos (4, 2, 1, 0,71, 0,50, 0,25, 0,125, 0,063, 0,031, 0,016, 0,008, 0,004, 0,002mm), na abscissa e a respectiva porcentagem acumulada da passagem dos sedimentos (0 a 100%) na ordenada, sendo está referente à quantidade de sedimentos que é inferior ao indicado.

Com a curva granulométrica foram obtidos os diâmetros dos grãos em 90 e 84% da passagem dos sedimentos, para empregar nos cálculos do coeficiente de

rugosidade (Equação 4) e da profundidade de fluxo relativo e assim, possibilitar a análise da resistência do fluxo. A resistência de fluxo determina a quantidade de água que um corpo hídrico pode transportar, por meio da influência da resistência em relação a velocidade e, portanto, na profundidade do fluxo (POWELL, 2014).

4.4 Amostragem de água subsuperficial

Para coleta de amostras de água em subsuperfície foi utilizado um recipiente com volume máximo de 5L. Para o procedimento de amostragem, o recipiente foi anteriormente ambientalizado e, logo após submerso na coluna d'água, com movimento horizontal até uma profundidade de aproximadamente 30cm da superfície da água. Imediatamente após, o recipiente foi emergido da água para a superfície e fechado. Esses procedimentos estavam de acordo com as descrições de CETESB/ANA (2011).

O Local da amostra foi definido na intenção de atingir uma zona que compõe a união dos fluxos dos corpos hídricos em estudo, logo após a zona de confluência. A coleta de amostra de água foi realizada de modo a garantir a quantidade adequada para análises hidroquímicas, mantendo-se preservada no recipiente durante o transporte até chegar ao laboratório.

O método para obtenção dos parâmetros químicos da água, salinidade e condutividade elétrica, foi conforme descrito no manual do equipamento Condutivímetro (marca *Mettler Toledo*, modelo FG3). Os dados obtidos foram empregados para posterior correção dos dados medidos com ADCP.

4.5 Processamento dos dados de velocidade

Usando o software Velocity Mapping Toolbox - VMT versão 4.08 (PARSONS *et al.*, 2012), desenvolvido e disponibilizado pela USGS, os dados extraídos do ADCP, foram processados, analisados e visualizados para todas as seções transversais definidas. Imediatamente, foi realizada a plotagem bidimensional e tridimensional das velocidades, para obter a representação composta dos campos nas seções transversais, através de uma interface gráfica de usuário (GUI), Figura 17, respectiva tela inicial do software.

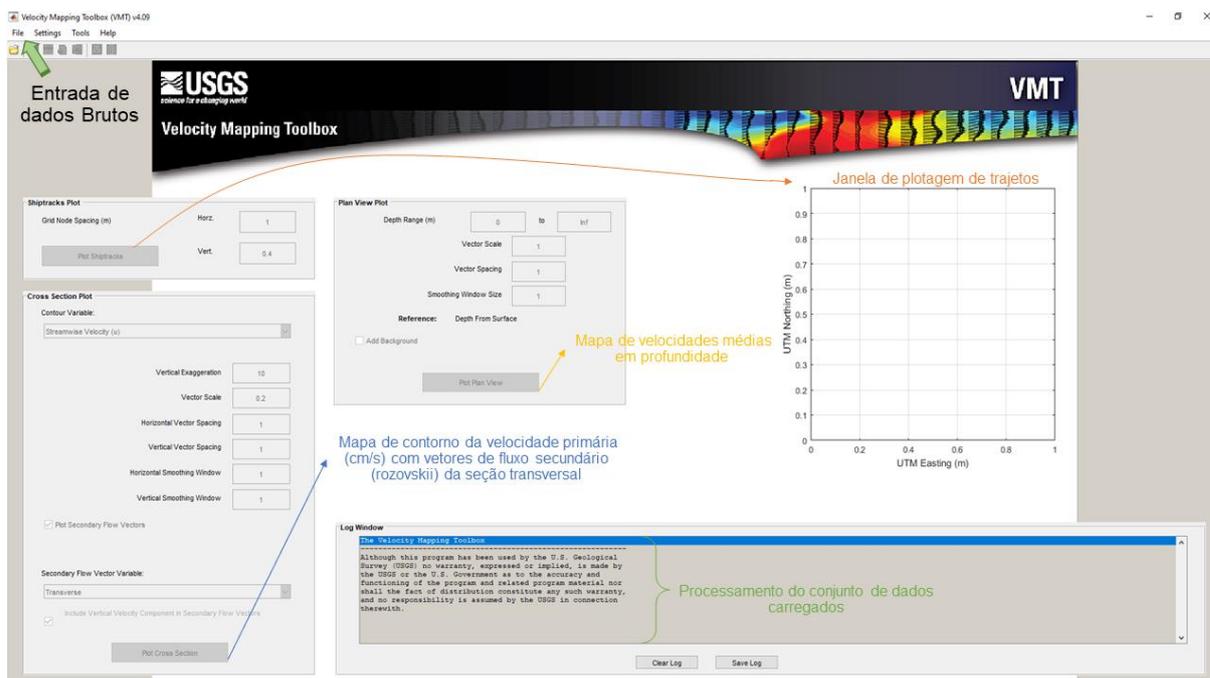


Figura 17 – Tela inicial do software VMT.

Após a entrada dos dados brutos do ADCP (.mat), foi possível realizar a plotagens de diferentes mapas: trajeto de medição em cada seção; contorno da seção transversal média; visualização das velocidades no plano, conforme fluxograma a seguir (Figura 18), representativo dos possíveis mapas gerados e respectivos dados, dispostos em cada um destes.



Figura 18 – Fluxograma de possíveis plotagens e respectivos resultados.

Todos os processamentos foram de acordo com Parsons *et al.* (2012). Foram adequados os parâmetros para cada seção transversal previamente as plotagens gráficas. A ferramenta fornece, automaticamente, algumas informações dos dados

inseridos na janela de registro principal, conforme fluxograma apresentado na Figura 19.

Para as respectivas plotagens dos mapas mencionados e de interesse do estudo, foram aplicadas as configurações dos parâmetros dispostos na Tabela 15, gerando mapas referentes às campanhas amostrais: primeira (10/01/2022), segunda (21/07/2022) e terceira (04/11/2022). Os dados resultantes das plotagens, fornecidos pelo software que os caracterizam, são: espaçamento utilizado, método de análise, direção de fluxo, desvio de fluxo, razão entre velocidade primária e secundária e faixa de velocidade utilizada para plotagem, todos apresentados nos apêndices B, C e D.

De acordo com Parsons *et al.* (2012), o primeiro parâmetro solicitado para plotagem do trajeto das medições, é o espaço entre nós de grade horizontal, que por padrão é de 1 metro, porém, após a entrada dos dados do ADCP, o VMT apresenta um valor recomendável e representativo para cada seção, expressos no Apêndice B, sendo que o valor utilizado foi superior ao recomendado pelo software conforme indicado na terceira coluna na Tabela 15. Também é necessário informar o espaçamento entre nós de grade vertical, mantido em 0,4 metros, considerado como padrão para medições com TDRI RIVER RAYS, Engel e Frank (2017). Sendo estas configurações fundamentais para todos os procedimentos posteriores, base para construção de um mapa denominado *mapa em branco*, que possui espaçamentos de nós de grade pré-estabelecidos que o tornam apto a receber os dados e plotar os mapas de interesse, além da plotagem rápida do trajeto percorrido durante as medições representativas da seção transversal média.

Já para plotagem de cada mapa da seção transversal média, parâmetros apresentados na Tabela 15, apenas a escala vetorial foi alterada conforme melhor representação para cada seção transversal, previamente ao preenchimento das configurações e parâmetros, definida a variável de contorno, referente à escolha da variável para renderizar o contorno colorido representativo desta variável da seção transversal média em estudo. Foram considerados componentes de velocidade de fluxo primário e secundário, utilização do método de rozovskii, sendo este último um dos métodos mais usuais para análise de velocidade de fluxo, uma vez que, resulta em uma visualização mais clara dos vetores e comportamentos do mesmo, conforme estudos de Luz *et al.* (2020), Rhoads e Kenworthy (1995; 1998), Riley e Rhoads (2012) e Yuan *et al.* (2021).

A plotagem da visualização do plano foi realizada de modo conjunto para todas as seções (múltiplos transectos), previamente processadas, considerados vetores de escala igual a 2, para obtenção do comprimento dobrado dos vetores de velocidade e espaçamento vetorial igual a 3 (espaçamento entre os vetores), como forma de garantir uma melhor representação da velocidade sobre a área em estudo.

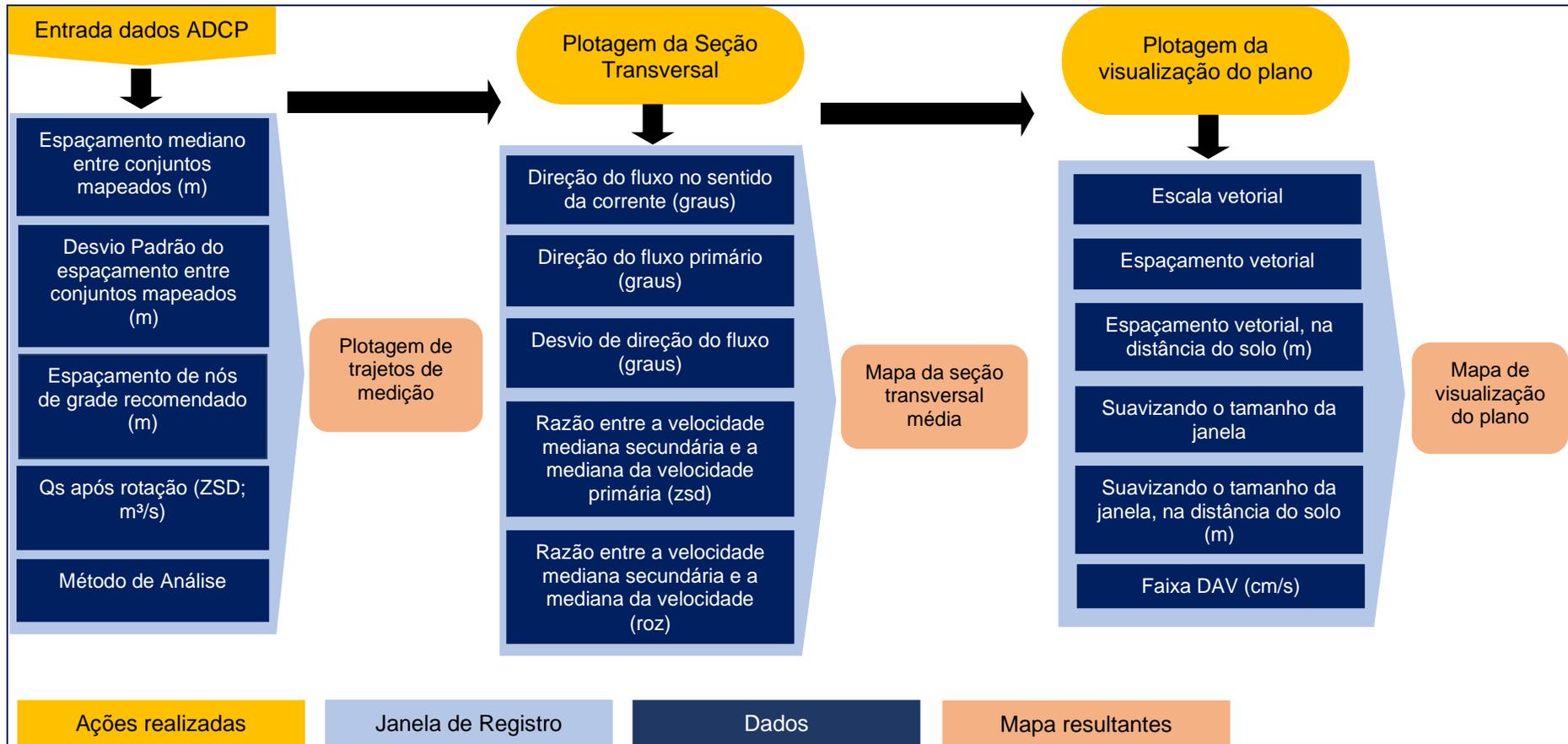


Figura 19 – Fluxograma das ações realizadas no Velocity Mapping Toolbox e seus respectivos dados e mapa resultantes.

Tabela 15 – Configurações e parâmetros de VMT para geração dos mapas referentes a primeira campanha amostral (10/01/2022).

Saída de Campo	S.T.	Esp. Entre nós de grade		Plotagem da Seção Transversal						Plotagem da Visualização do Plano*				
				Exagero vert.	Escala vetorial	Esp. Vetorial		Janela de suavização		Faixa de prof. (m)	Esc. Vetorial	Esp. Vetorial	Janela de Suavização	
		Horiz.(m)	Vert. (m)			Horiz.	Vert.	Horiz.	Vert.					
10/01/2022	4	0,5	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	5	0,6	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	6	0,5	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	7	0,6	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	8	0,5	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	9	0,4	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	10	0,4	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	11	0,4	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	12	0,3	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	13	0,5	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	21/07/2022	1	1	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
		2	0,9	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
		3	0,9	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
4		1	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
5		0,9	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
6		1	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
7		1	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
8		1	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
9		0,8	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
10		0,6	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
11		0,6	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
12		0,5	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
13		0,9	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
04/11/2022	1	1,07	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	2	1,04	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	3	1	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	4	1	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	5	0,7	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	6	1	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	7	0,7	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	
	8	1	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1	

Tabela 15 – Configurações e parâmetros de VMT para geração dos mapas referentes a primeira campanha amostral (10/01/2022).

(conclusão)

Saída de Campo	S.T.	Esp. Entre nós de grade		Plotagem da Seção Transversa						Plotagem da Visualização do Plano*			
		Horiz.(m)	Vert. (m)	Exagero vert.	Escala vetorial	Esp. Vetorial		Janela de suavização		Faixa de prof. (m)	Esc. Vetorial	Esp. Vetorial	Janela de Suavização
						Horiz.	Vert.	Horiz.	Vert.				
	9	0,9	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
	10	0,8	0,4	10	0,4	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
04/11/2022	11	0,6	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
	12	0,7	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1
	13	0,7	0,4	10	0,3	1	1	1	1	0-inf	2	3	1

Nota: as seções 1, 2 e 3 da primeira saída de campo foram desconsideradas devido má qualidade das informações e dados coletados. S.T. – seção transversal; Esp – espaçamento; Esc – escala; horiz – horizontal; vert – vertical; prof – profundidade; inf – infinito; * - o mapa de visualização foi plotado de modo conjunto (unificado) sobre a zona de confluência.

5 Resultados e Discussões

Com os resultados das medições executadas em campo, inicialmente realizou-se um processamento e verificação da qualidade dos dados no software RiverSurveyor Live, seguido do pós-processamento no software Qrev, para a respectiva identificação das condições do local de estudo. No software RiverSurveyor Live foram realizadas correções quanto a profundidade do transdutor durante as medições, correção da declinação magnética obtida a partir do NOAA – National Centers For Environmental Information e inserção de salinidade (Tabela 16), de acordo com as datas das campanhas amostrais.

Tabela 16 – Processamento de dados no RiverSurveyor Live.

Campanha Amostral	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022
Profundidade do Transdutor (m)	0,10	0,10	0,10
Declinação Magnética (deg)	-15,80	-15,90	-15,90
Salinidade (ppt)	2,66	0,04	0,06
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4,92	88,30	121,1

Salienta-se que os dados de salinidade foram inseridos para correção da velocidade do som, em ambas as datas de medição, sendo para a primeira e terceira campanha amostral em todas as seções transversais e na segunda campanha amostral apenas para as seções transversais do canal São Gonçalo. Esta condição de salinidade deve-se exclusivamente as condições do ecossistema Canal São Gonçalo, curso d'água com ligação direta para a Laguna dos Patos, e conseqüentemente, suscetível a intrusão salina, condição está identificada em épocas de estiagem, em que seu escoamento se inverte e águas salobras fluem no sentido da Laguna dos Patos para a Lagoa Mirim (FERNANDES *et al.*, 2021; GONÇALVES *et al.*, 2021).

A direção dos ventos também é um fator que influencia na ocorrência de intrusão salina no canal. Na região da Laguna dos Patos os ventos prevaletentes são de direção Nordeste, que favorecem a diminuição de vazão no Canal São Gonçalo devido ao represamento provocado com o escoamento das águas da laguna para o oceano Atlântico (HATMANN *et al.*, 1986), estas direções são mais ativas nas estações de primavera e verão, já no inverno os ventos oeste-sudeste prevalecem (TOMAZELLI, 1993). Em conjunto aos ventos sudeste, quando em

prevalência, a diminuição do nível de água na laguna é favorecida e, com isto, há intrusão da água do mar para a laguna (HARTMANN *et al.*, 1986; MONTEIRO *et al.*, 2005; KASBURG, 2016), que por consequência contribuem na salinização das águas do Canal São Gonçalo.

Os dados de profundidade do transdutor e declinação magnética serão referência para toda a área estudada. Observa-se uma diferença significativa entre as concentrações de salinidade, concentrações de 2,66ppt em 10/01/2022, 0,04ppt em 21/07/2022 e 0,06ppt em 04/11/2022, sendo as duas últimas concentrações variando de 44 a 66 vezes menor que a concentração encontrada na primeira medição.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05, são classificadas águas doces, salobras ou salgadas, dependendo do seu teor de salinidade. I – águas doces: salinidade inferior ou igual a 0,5‰; II – águas salobras: salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰; III – águas salgadas: salinidade igual ou superior a 30‰ (BRASIL, 2005). Deste modo, o Canal São Gonçalo no dia 10/01/2022 suas águas estavam classificadas como salobras, esta condição de salinidade pode ser explicada devido sua posição, próxima a desembocadura do Canal São Gonçalo com a Laguna dos Patos, portanto sem interferência da Barragem do São Gonçalo, estrutura a 11,72km distantes da confluência entre o Arroio Pelotas e O São Gonçalo.

Destaca-se ainda que no dia desta amostragem as 18 comportas da Barragem do São Gonçalo se encontravam fechadas impedindo escoamento no sentido da Laguna dos Patos para a Lagoa Mirim podendo resultar na concentração de sal na região entre a desembocadura do Canal São Gonçalo com a Laguna dos Patos e a Barragem do Canal São Gonçalo. Já na campanha amostral dos dias 21/07/2022 e 04/11/2022 a água do Canal São Gonçalo foi classificada como doce, salinidade inferior a 0,5‰, indicando que não houve intrusão salina nesses dias. Para o tributário – Arroio Pelotas, não foi realizada medição de salinidade considerando que este corpo hídrico está sujeito à intrusão salina somente quando os níveis de salinidade do Canal São Gonçalo configuram nível II ou III, salobro ou salgado e os ventos predominantes estejam de leste, constituindo-se remanso e consequente salinização do Arroio Pelotas, situação não verificada nessas duas campanhas. Essa condição foi verificada apenas para a campanha amostral 1.

5.1 Condições Hidrológicas e Hidráulicas

Na tabela seguir é apresentada as principais propriedades de vazão e características da água do Canal São Gonçalo (SG) e Arroio Pelotas (AP), medidas nas seções transversais com ADCP, observados a montante e a jusante da junção, durante os levantamentos de campo, dados processados no software QRev.

Tabela 17 – Propriedades de vazão e características da água do canal São Gonçalo e Arroio Pelotas durante as campanhas amostrais.

Curso d'água	Camp.´	A (km ²)	ASTm (m ²)	Q (m ³ /s)	Wm (m)	Hm (m)	Vm (m/s)	Dir.*m (°)	Sig.	Tm (°C)	ρ_m (kg/m ³)
SG	10/01		1628,09	89,41	383,03	4,26	0,06	106,08	ESE	26,10	996,76
	21/07	62.250	1945,83	1270,79	382,85	5,10	0,66	94,76	E	13,62	999,30
	04/11		1735,58	654,31	367,55	4,75	0,38	94,19	E	19,61	998,28
AP	10/01		223,08	38,95 ¹	98,37	2,28	0,18 ¹	315,56	NW	26,33	996,70
	21/07	910	319,26	44,09	116,73	2,75	0,14	148,50	SSE	13,92	999,26
	04/11		241,06	9,57 ¹	101,61	2,39	0,04 ¹	299,27	WNW	20,03	998,20

SG – Canal São Gonçalo; AP – Arroio Pelotas; Camp. – campanhas amostrais; ´ – todas as campanhas foram realizadas em 2022; A – área total da bacia hidrográfica qual o curso d'água compõe; ASTm – área média da seção transversal; Q – vazão total média; Wm – largura média das seções transversais; Hm – profundidade hidráulica (obtida por ASTm/Wm); Vm – velocidade média (obtida por Q/ASTm); Dir.* – direção média da água; Sig. – Sigla da direção; Tm – temperatura média da água; ρ – densidade média da água (HAYNES *et al.*, 2014); ¹ - parâmetros negativos.

Observa-se significativa diferença nas vazões para os três levantamentos em ambos os corpos hídricos, sendo para o canal São Gonçalo uma diferença de pouco mais de 1.180m³/s da segunda campanha amostral em relação à primeira, que apresentou vazão de 89,41m³/s e 617m³/s da terceira campanha amostral, sendo perceptível a diferença de volume e identificação dos períodos de condições hidrológicas de baixa, média e alta pluviosidade, de acordo com as características pluviométricas (Tabela 12).

Para o Arroio Pelotas foi identificada uma significativa tendência de vazões menores que as encontradas no canal principal, variando de -38,95 a 44,09m³/s, associado à sua capacidade natural, área menor de escoamento e consequentemente um menor volume de armazenamento. Salienta-se que vazões negativas foram observadas no Arroio Pelotas, em períodos de baixa e média pluviosidade podendo estar associado a recirculação do fluxo (GUALTIERI *et al.*, 2019), e vazões positivas em períodos com condições hidrológicas com alta

pluviosidade, com escoamento natural no sentido montante para jusante, adentrando no canal São Gonçalo.

Para ambos os cursos d'água observa-se que no mês de janeiro, primeira campanha, as águas encontravam-se com temperaturas mais elevadas coincidente com a estação do verão, diferentemente da segunda campanha realizada no mês de julho onde as águas encontraram-se com temperaturas mais baixas, característica da estação de inverno (SANTOS *et al.*, 2022b) e, por fim, na terceira campanha realizada no mês de novembro, as temperaturas apresentaram-se amenas, característica da estação de primavera na região.

Também foi possível observar diferenças significativas na morfologia dos cursos d'água, com dimensões distintas dos cursos d'água e respectivas bacias que estão inseridos, sendo para a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo – BHMSG uma área total de 62.250km² (FERNANDES *et al.*, 2021) e a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas – BHAP uma área 910km² (MEGIATO, 2011), a BHMSG na qual o canal São Gonçalo compõe, possui a área total da bacia cerca de 90% maior que a bacia qual o curso d'água tributário está inserido. Este fato também é comprovado através da análise específica das dimensões dos cursos d'água, no qual o canal São Gonçalo por possuir dimensões significativamente maiores, é definido como curso d'água principal (LUZ *et al.*, 2022). Além disso, diferenças superiores a 1 metro e 90 centímetros de profundidade hidráulica foram observadas interferindo para baixo e para alto fluxo, do SG ao AP, enquanto que a direção média do fluxo da água nas três datas de medição, apresentaram mudanças significativas entre si.

Foi observado que as águas do Canal São Gonçalo apresentam escoamento em direção Leste-Sudeste para 10/01/2022 e Leste para 21/07/2022 e 04/11/2022, com velocidade de fluxo de 0,06, 0,66 e 0,38m/s para cada campanha amostral, respectivamente, cerca de 3 a 9 vezes superior às encontradas para o AP, estes comportamentos foram observados devido as dimensões maiores no SG, que por consequência favorecem vazão e volume escoado significativamente maiores.

O Arroio Pelotas apresentou escoamento com direção Noroeste para 10/01/2022, Sul-Sudeste para 21/07/2022 e Norte-Nordeste para 04/11/2022, com velocidade de escoamento de fluxo variando de -0,18 a 0,14m/s, sendo as velocidades da primeira e terceira campanha amostral caracterizadas com escoamento mais lento, devido a pouca movimentação do fluxo no Arroio Pelotas, além dos processos de deflexão de fluxo, convergência e remanso fluvial (BEST

1987; RILEY e RHOADS, 2012), diferentemente para a segunda campanha amostral que apresentou maior velocidade de fluxo, devido apresentar vazão mais elevada favorecida pela alta pluviosidade.

As velocidades negativas ocorreram devido a deflexão do fluxo originada da convergência dos fluxos (VESTANA e KOMINECKI, 2021), responsável pelo desenvolvimento de uma zona de estagnação de fluxo, no qual, apresentam velocidades muito pequenas ou negativas (RILEY e RHOADS, 2012), este fato também pode estar associado as ocorrências de aumento de pressão e de profundidade hidráulica, reflexos da convergência e remanso fluvial (BEST, 1987; BIRON *et al.*, 1996).

Deve-se levar em consideração que além destes fatores apontados, o Canal São Gonçalo possui regime hidrológico que favorece a inversão do fluxo de escoamento sentido Laguna dos Patos para Lagoa Mirim (HARTMANN; HARKOT, 1990; POSSA, 2019) associado ao relevo plano da região (REHBEIN *et al.*, 2021), o que influencia à ação dos ventos e dos níveis, e deste modo, podendo estar contribuindo com escoamento para o Arroio Pelotas, mesmo que não apresentado comportamento uniforme dos vetores de velocidade do Canal São Gonçalo adentrando ao Arroio Pelotas, diferentemente da velocidade positiva de 0,14m/s ocorrida na segunda campanha amostral. Deve-se salientar que as direções de escoamento foram definidas conforme Apêndice E.

As diferenças de velocidade e profundidade hidráulica do SG para o AP, também podem ser explicadas pelas condições hidrológicas no período das campanhas amostrais, sendo observado que para o mês de Janeiro precipitações com um acúmulo de 50,80mm nos 30 dias antecedentes a 10/01/2022, primeira campanha amostral, com vazão também inferior, comparada as demais.

Para a segunda campanha amostral, observou-se uma precipitação acumulada de 477,20mm entre o período 21/06/2022 a 21/07/2022, como consequência resultou em profundidade hidráulica, velocidade de fluxo e vazões superiores, devido ao maior volume de água. Na última campanha amostral realizada, houve uma precipitação acumulada de 116,20mm no período de 05/10/2022 a 04/11/2022, sendo um período em que as precipitações foram intermediárias com relação as anteriores, em que houveram eventos de precipitação significativo, porém em volume inferior a campanha amostral antecedente.

Em ambas as campanhas os cursos d'água apresentaram densidade específica da água muito próximas, levemente mais densas na campanha realizada em período de baixa pluviosidade e com maior salinidade, devendo-se salientar que cursos d'água mais densos tendem a mergulhar e escoar abaixo do curso d'água menos denso (RAMÓN *et al.*, 2013). A densidade da água foi obtida considerando a temperatura da água medida pelo ADCP, em cada seção transversal, conforme Anexo A (HAYNES *et al.*, 2014).

Na Tabela 18 podemos observar as características hidráulicas da zona de confluência, com enfoque principal o número de Froude interno, número de Froude, fator de atrito e a razão de fluxo de momento.

Tabela 18 – Características hidráulica da zona de confluência.

Camp. ¹	Corpo Hídrico	$\frac{\Delta\rho}{\rho_o}$	g' (m ² /s)	Fi		Fr*	f*	Mr	Qr
				Mont.	ZC ² ; Jus. ³				
10/01	AP	6x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁴	5,06	4,29	0,04	0,24	1,382	0,436
	SG			0,73	0,76	0,01	6,14		
21/07	AP	4x10 ⁻⁵	4x10 ⁻⁴	4,44	3,94	0,03	0,45	0,007	0,035
	SG			14,33	16,27	0,09	0,04		
04/11	AP	9x10 ⁻⁵	9x10 ⁻⁴	1,55	0,64	0,01	26,76	0,002	0,015
	SG			6,04	6,52	0,06	0,11		

Camp.¹ – campanhas amostrais realizadas em 2022; $\Delta\rho/\rho_o$ – variação de densidade dos cursos d'água (diferença de densidade entre os cursos d'água); g' – aceleração gravitacional reduzida; Fi – número de Froude interno (obtido a partir das velocidades e profundidades respectivas das seções transversais consideradas, apresentado no Apêndice F); Mont. – montante da zona de confluência (seção 1-SG e 12-AP); ZC² – zona de confluência (seção 9-AP); Jus.³ - jusante da confluência (seção 13-SG); Fr – número de Froude; f – fator de atrito; * - parâmetros obtidos a partir da média dos cálculos para cada seção transversal (Apêndice F); Mr – razão de fluxo de momento; Qr – razão das vazões.

Analisando a diferença de densidade da água na primeira campanha, realizada na estação do verão e por consequência disto resultando em águas com temperaturas mais elevadas, a zona de confluência apresentou diferença de densidade duas vezes superior à segunda campanha amostral, realizada no inverno, com diferença de densidade mais amenas, oposto a terceira campanha amostral qual apresentou diferença de densidade três vezes superior em relação à primeira.

Devido o número de Froude Interno (Fi) ser um parâmetro utilizado para análise da força de entrada do fluxo na zona de confluência (a montante da confluência) (GUALTIERI *et al.*, 2019), assim como, na saída do tributário e entrada de fluxo no principal (LEWIS e RHOADS, 2015), denominado aqui como centro da confluência. Serão discutidos os Fi de entrada (montante de ambos cursos d'água),

no centro da confluência e de saída da zona de confluência (jusante), dispostos na Tabela 18, e restante das seções apresentadas no Apêndice F.

Para as forças de entrada na zona de confluência (seção 1 (21/07/2022 e 04/11/2023) e 4 (10/01/2022) – SG e; seção 12 - AP), no centro da confluência (seção 12 – AP e; seção 9 – AP) e força de saída (seção 13 – SG), dispostos no Apêndice F. Na primeira campanha amostral o fluxo de entrada estava sobre domínio de forças de empuxo, no início da confluência o domínio passou a ser pelas forças inerciais e teve na saída da confluência as forças de empuxo. Já, para a segunda campanha, o movimento dos fluxos foi dominado pelas forças inerciais desde a entrada, passando pelo início da confluência até a saída da ZC. Diferente do observado para a terceira campanha, qual apresentou forças de entrada e saída inerciais, tendo apenas no início da confluência forças de empuxo (HORNA-MUNOZ *et al.*, 2020; LEWIS e RHOADS, 2015; RAMÓN *et al.*, 2013).

Devendo-se ressaltar que as forças de empuxo ocorrem quando um fluxo entra em outro curso, empurrando a água deste ambiente até que sua inércia (estagnação) seja interrompida, este evento ocorre a uma distância significativa do local de encontro e é proporcionado pela diferença de densidade. Quando isto ocorre, a água de menor densidade afasta-se do fundo do corpo hídrico, subindo (como um empuxo) para a parte superior coluna d'água. Já as forças inerciais começam a atuar quando as águas de densidade maiores, escoam ao longo do fundo do corpo hídrico, impulsionado pela gravidade, arrastando gradualmente a água até atingir o nível de neutralidade entre os fluxos (RAMÓN *et al.*, 2013).

Referente ao número de Froude hidráulico (Fr) foi observado que para as três campanhas amostrais em ambos os cursos d'água o fluxo manteve com mesmo regime, caracterizando que a zona de confluência apresentou regime de fluxo subcrítico, uma vez que, apresentou $Fr < 1$ (LUZ *et al.*, 2017), que resulta em predominância de energia potencial gravitacional agindo no fluxo escoado (ANCHIETA *et al.*, 2020).

Além deste, pode-se observar o parâmetro de razão de fluxo de momento (Mr), que indica o curso d'água que se encontra em dominância perante ao outro, conforme os resultados obtidos e apresentados na Tabela 18. Pode-se inferir que para a primeira campanha amostral o Arroio Pelotas (curso d'água tributário) apresentou dominância sobre o canal São Gonçalo (curso d'água principal) com um $Mr > 1$, diferentemente para a segunda e terceira campanha amostral onde, de

acordo com o $Mr < 1$, podemos inferir que o canal São Gonçalo estava em dominância sobre a hidrodinâmica dos fluxos em relação ao Arroio Pelotas (SERRES *et al.*, 1999).

A partir da razão de vazões (Q_r) obtidas para cada campanha amostral de um curso d'água em relação ao outro, é possível aferir que na primeira campanha amostral os cursos d'água apresentaram uma razão de 0,436, qual foi superior a encontrada na segunda e terceira campanha amostral, com razão de 0,035 e 0,015, respectivamente. De modo geral os valores encontrados são relativamente baixos em ambas as campanhas amostrais, o que demonstra a significativa diferença entre as propriedades de fluxo dos dois cursos d'água, condição está também relatada e identificada por Gualtieri *et al.* (2019).

Para obtenção do fator de atrito para cada campanha amostral, foi utilizada a declividade de 0,004% para toda zona de confluência, parâmetro obtido por Bonczynski (2018), considerando toda extensão do Canal São Gonçalo. Deve-se salientar que este parâmetro foi utilizado para as seções transversais do Arroio Pelotas, devido este ambiente não possuir dados de cota a jusante do seu escoamento o que, com isto, restringe as possibilidades de obtenção da declividade da linha d'água de montante a jusante. Além deste, foi admitido à profundidade hidráulica média substituindo o raio hidráulico, devido os ambientes analisados não se caracterizarem como canais estreitos (FERGUSON, 2007). Comprovou-se que a região se encontra em planície costeira, o que favorece a ocorrência de declividades baixas, e por sua vez, provocam oscilações nos níveis de água e inversão de fluxo.

Mesmo que considerada a mesma declividade para ambos os cursos d'água, as características de velocidade e profundidade hidráulica variaram significativamente entre o SG e o AP. Deste modo, foram obtidos separadamente valores de fator de atrito médio para o AP e o SG (Tabela 18). Para o Arroio Pelotas observados valores variaram de 0,24; 0,45 e; 26,76, respectivamente, para as campanhas amostrais, para o Canal São Gonçalo o f variou de 6,14; 0,04 e; 0,11. Sendo o fator de atrito na primeira campanha amostral superior no AP, e superior no SG na segunda e terceira campanha amostral.

Deste modo, infere-se que o principal fator de influência em valores altos do fator de atrito, se deve a ocorrência de velocidade bem baixas, diferentemente do comportamento e correlação esperada entre o número de Froude hidráulico e o fator de atrito, que quanto maior for o número de Froude, menor é o fator de atrito, assim

como, quanto menor o número de Froude, maior é o fator de atrito (SOUZA e PAIVA, 2018), ou seja, que as condições de escoamento referentes a vazão e velocidade são predominantes ao tipo de regime do fluxo. Por fim, salienta-se que a resistência do fluxo apresenta forte correlação com a rugosidade do sedimento presente no fundo dos corpos hídricos (BATHURST, 1985), analisados e discutidos no tópico 5.3.

5.2 Padrões de velocidade do fluxo

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados obtidos do mapa gerado referente a visualização do plano dos vetores de velocidade média no perfil vertical, permitindo que várias seções transversais sejam carregadas e visualizadas, referenciadas na mesma escala ao carregar vários transectos previamente processados no VMT. As representações de contorno das velocidades de cada seção transversal média são apresentadas no Apêndice G. As plotagens de mapa seguiram as indicações de Engel e Jackson (2017), seguido da apresentação e discussão referente a influência da direção e velocidade dos ventos em relação ao fluxo.

5.2.1 Visualização das velocidades no plano da zona de confluência

No Arroio Pelotas, transectos dispostos a montante da zona de confluência, a velocidade média no perfil vertical apresentou variação de 0,25 a 0,40m/s ao longo da seção transversal para as condições observadas na primeira campanha amostral, diferentemente da velocidade para a segunda e terceira campanhas amostrais, onde o Arroio Pelotas apresentou velocidades relativamente uniformes em ambas, variando de <0,10 a 0,30m/s, sendo verificado apenas na última campanha amostral, variação na direção dos vetores de velocidade.

Para o Canal São Gonçalo a distribuição da velocidade média no perfil vertical variou ao longo da largura do canal em cada seção transversal, com aproximadamente 0,20 a >0,80m/s para a segunda campanha amostral, sendo que, no centro das seções transversais observou-se velocidades consideravelmente constantes entre as seções transversais variando de >0,60 a >0,80m/s, e para a

terceira campanha amostral uma variação de 0,10 a >0,60m/s, verificando-se uma maior predominância de velocidade de 0,30 a 0,50m/s.

Na primeira campanha amostral, devido às condições ambientais, a representação dos vetores de velocidade não é legível, com um entendimento claro de como estava ocorrendo a movimentação do fluxo em diversas direções. Isto pode estar associado às condições de baixa pluviosidade e as características particulares de inversão de fluxo no canal, já que predominantemente os fluxos estavam escoando em sentido Lagoa Mirim para Laguna dos Patos, ou seja, para jusante da zona de confluência, também identificado vetores de velocidade em sentidos opostos. Percebe-se uma certa variação de velocidade, mas há uma predominância de velocidade variando de 0,5 a 0,20m/s, conforme apresentado na Figura 20, sendo as Figuras 20 A, B e C, referentes a primeira, segunda e terceira campanha amostral, respectivamente.

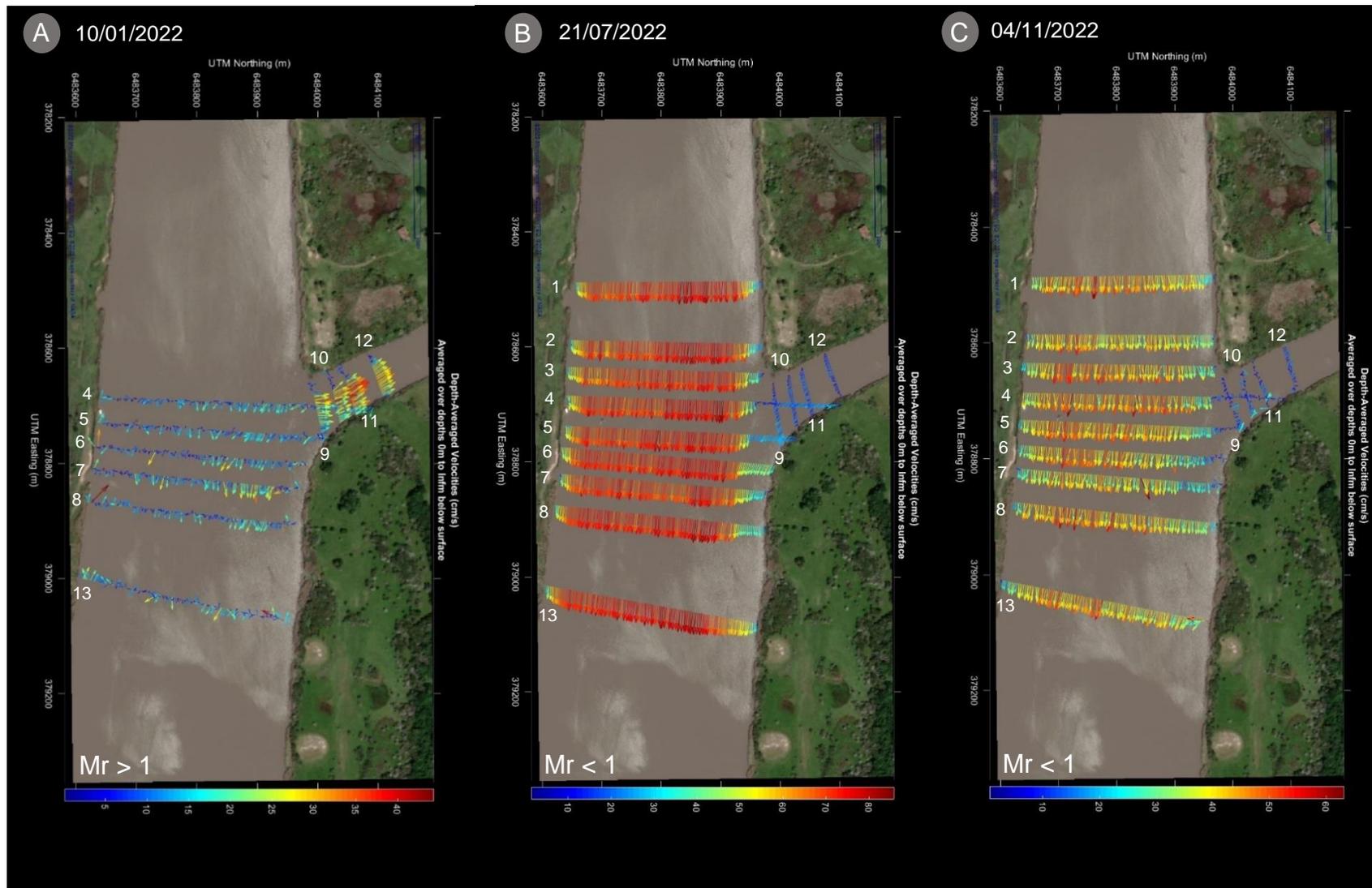


Figura 20 – Mapa de visualização da velocidade no plano da zona de confluência: (A) primeira campanha amostral; (B) segunda campanha amostral; (C) terceira campanha amostral.

Em 10/01/2022 e 04/11/2022 claramente identificamos que o curso d'água tributário, ou seja, o Arroio Pelotas próximo da zona de encontro com o Canal São Gonçalo apresenta sua direção de fluxo de escoamento retornando para seu interior, sentido Canal São Gonçalo para o Arroio Pelotas. Pode-se inferir que é provocado pela diferença de velocidade de escoamento entre os cursos d'água, conforme já apresentado e discutido anteriormente, características de condições de remanso, ou seja, a desaceleração da velocidade de fluxo médio, propiciando o retorno do fluxo para seu interior e influenciando diretamente na hidrodinâmica do curso d'água (LI *et al.*, 2020; WU e NITTRouer, 2019), assim como a contribuição de escoamento do Canal São Gonçalo para o Arroio Pelotas pela inversão de fluxo.

Para 21/07/2022 e 04/11/2022, observa-se claramente, vetores de velocidade de maior magnitude para o canal principal, SG, devido às condições hidrológicas de maior pluviosidade e por consequência maior vazão, como já mencionado e abordado anteriormente, resultando em maiores velocidades, verificando no centro das seções transversais velocidades variando de 0,65 a $> 0,80\text{m/s}$ para 21/07/2022 e $> 0,40$ a $0,60\text{m/s}$ para 04/11/2022, sendo esta magnitude de pelo menos quatro e três vezes superior que as velocidades encontradas para a primeira campanha amostral, em condições hidrológicas mais secas, respectivamente.

Além destes, na segunda campanha amostral, apesar do Canal São Gonçalo apresentar dominância de fluxo em relação ao Arroio Pelotas, há contribuições do fluxo tributário para o canal principal, observadas velocidades variando de $< 0,10$ a $0,30\text{m/s}$, significativamente menores que as velocidades do canal principal. Porém quando comparado as condições de velocidade no canal tributário, entre a segunda e a primeira campanha amostral, as magnitudes na segunda campanha amostral foram menores, possivelmente devido as características de escoamento do Canal São Gonçalo, com vazões e velocidades elevadas, o que influenciaram na diminuição do M_r , e por consequência não ocorrência de intrusão ao Arroio Pelotas.

A hidrodinâmica do Canal São Gonçalo e Arroio Pelotas observando dados de 10/01/2022 apresentou características de confluência, como zona de estagnação (na margem esquerda do AP e ao longo das seções transversais do SG); zona de separação e recirculação de fluxo (na margem direita das seções transversais 9,10 e 11 do Arroio Pelotas), destacando para uma divergência entre os fluxos dos cursos d'água em estudo, onde as velocidades do AP mantiveram-se de sul para norte e no

SG as velocidades em sua maioria apresentaram escoamento de oeste para leste (Lagoa Mirim – Laguna dos Patos).

Na segunda e terceira campanha amostral, em 21/07/2022 e 04/11/2022 a hidrodinâmica da confluência apresentou características de zona de estagnação (margem esquerda das seções transversais do SG). Cabe salientar que a seção transversal 4, após a intrusão da medição no canal tributário, com fluxo em baixas velocidades, apresentou estagnação de fluxo devido as condições do AP, sendo esta zona comumente identificada no canto de junção a montante da ZC (BEST, 1987; GUALTIERI *et al.*, 2019).

Paralelo a estagnação do fluxo, foi identificada zona de deflexão fluxo, respectivas da área onde ocorre a convergência dos fluxos (seções 4 e 5 do SG e 9 e 10 do AP para 21/07/2022 e seções 4 do SG e 9 do AP para 04/11/2022), apresentando uma vulnerabilidade a processos erosivos devido ao ângulo de junção (VESTANA e KOMINECKI, 2021).

No centro e após a zona de confluência, foi identificada zona de separação de fluxo, associada ao ângulo de junção, recirculação de fluxo e possibilidade de ressurgência de sedimentos (lado esquerdo do SG entre as seções transversais 4 a 8 para 21/07/2022 e 04/11/2022 e seções do AP para 04/11/2022) (BEST, 1988).

Imediatamente após a confluência fluvial, há aceleração do fluxo, respectiva do seu redirecionamento, proveniente da mudança de direção de fluxo devido a introdução do tributário para o canal principal (LUZ *et al.*, 2020). Logo os fluxos começam a se reestabelecer, esta recuperação foi observada a aproximadamente 280 m a jusante da confluência, na seção transversal 13, onde o fluxo apresentou comportamento contínuo e semelhante aos ocorridos pelo canal principal a montante da confluência (RHOADS e KENWORTHY, 1998; RILEY e RHOADS, 2012).

A camada de cisalhamento, gerada pelas diferenças de velocidade, fluxo de momento e convergência entre os fluxos (GUALTIERI *et al.*, 2019), é relacionada as zonas identificadas com resistência ao fluxo, apresentado e discutido posteriormente.

5.2.2 Influência da direção e velocidade dos ventos em relação ao fluxo

De acordo com os dados apresentado nos Apêndices H, I e J, referente a direção dos ventos nos dias 10/01/2022, 21/07/2022 e 04/11/2022, obtidos através

do software WRPlot, considerando dados de velocidade e direção do vento extraídos da estação HS-FLU-SG-02 (NEPE-HIDROSEDI, 2022), foi identificado a ocorrência ou não, de ventos calmos, ou seja, aquele que apresentarem velocidades abaixo de 0,50m/s, condição está respectiva da menor classe de velocidade do vento (THÉ *et al.*, 2016). Na primeira e terceira campanha amostral não houve ventos calmos, já para a segunda campanha amostral 8,33% dos ventos apresentaram velocidades calmas.

Para 10/01/2022 foi identificado grande atuação dos ventos provenientes de Nordeste e Norte-Nordeste, com intensidades de 2,10 a 5,7m/s e 3,60 a 8,80m/s, respectivamente, corroborando com estudos que identificaram o predomínio desta direção do vento ao longo do ano na região (GRIMMLER, 2017; KASBURG, 2016; TOMAZELLI, 1993). Em 21/07/2022 observou-se atuações de ventos provenientes de Norte para o Sul, com intensidades de 0,5 a 2,10 e de 2,10 a 3,60m/s e do Sul para o Norte com intensidade de vento de 2,10 a 3,60m/s e 3,60 a 5,70m/s, respectivamente. Diferentemente da última campanha amostral realizada em 04/11/2022 que registrou ventos provenientes do Leste, com intensidade variando de 2,10 a 8,80m/s, esta direção é bem marcante durante a estação da primavera na região da Laguna dos Patos, o qual os cursos d'água estudados se encontram próximo, devido a influências de brisa marítima (MÖLLER JR. *et al.*, 2001; TOMAZELLI, 1993). Podendo-se inferir que as respectivas campanhas amostrais apresentaram ventos atuantes da região durante os períodos analisados, relacionado a sua posição geográfica e aos eventos meteorológicos atuantes, não apontando anomalias relacionadas aos ventos.

Nas Tabelas 19, 20 e 21, são apresentados os dados das medições realizadas em cada seção transversal e para cada campanha amostral, contendo também a média e desvio padrão. Sendo de interesse neste item os dados de velocidade média e direção média dos fluxos de cada seção transversal.

Tabela 19 – Resumo das medições realizadas com ADCP para cada seção transversal em 10/01/2022.

Seção Transversal	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	W (m)	H Méd. (m)	Vel. Méd. (m/s)	Direção Méd.*	T (°C)
4 – SG	1867,03	67,48	455,99	4,09	0,04	110,40	25,75
5 – SG	1676,57	81,47	393,30	4,26	0,05	99,18	25,9
6 – SG	1581,73	67,90	366,87	4,31	0,04	108,02	26,03
7 – SG	1561,07	166,68	356,38	4,38	0,11	94,98	26,23
8 – SG	1541,78	94,79	353,25	4,37	0,06	105,48	26,3
9 – AP	1540,34	58,16	372,36	4,14	0,04	118,41	26,38
10 – AP	261,14	-39,48	124,59	2,10	-0,15	266,90	26,38
11 – AP	227,408	-38,77	91,943	2,47	-0,17	338,79	26,4
12 – AP	203,878	-39,82	91,823	2,22	-0,20	331,07	26,3
13 – SG	199,905	-37,73	85,135	2,35	-0,19	325,47	26,23
Média – SG	1628,09	89,41	383,03	4,26	0,06	315,56	26,33
Desvio Padrão - SG	127,46	39,96	38,48	0,12	0,03	8,32	0,25
Média – AP	223,08	38,95	98,37	2,28	0,18	315,56	26,33
Desvio Padrão - AP	28,13	0,92	17,77	0,16	0,02	32,89	0,08

Nota: as seções 1, 2 e 3 da primeira saída de campo foram desconsideradas devido à incerteza significativa dos dados obtidos pelos ADCP; SG – Canal São Gonçalo; AP – Arroio Pelotas; Área – área da seção transversal; Q – vazão; W – largura total da seção; H – profundidade hidráulica; Vel. – velocidade do fluxo; T – temperatura da água; Méd. – valor médio; * - direção do fluxo.

Tabela 20 – Resumo das medições realizadas com ADCP para cada seção transversal em 21/07/2022.

Seção Transversal	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	W (m)	H Méd. (m)	Vel. Méd. (m/s)	Direção Méd.*	T (°C)
1 – SG	1847,10	1222,42	333,69	5,54	0,66	90,96	13,90
2 – SG	1874,21	1227,76	343,18	5,46	0,66	93,04	13,65
3 – SG	1846,99	1225,11	360,25	5,13	0,66	92,97	13,55
4 – SG	2328,08	1283,59	480,43	4,85	0,55	94,36	13,50
5 – SG	2062,76	1291,79	411,93	5,01	0,63	95,11	13,60
6 – SG	1931,69	1297,10	379,85	5,09	0,67	96,83	13,60
7 – SG	1893,35	1291,48	376,78	5,03	0,68	96,02	13,60
8 – SG	1868,54	1291,39	375,19	4,98	0,69	96,79	13,60
9 – AP	1859,77	1306,45	384,34	4,84	0,70	96,82	13,60
10 – AP	377,12	46,62	147,96	2,55	0,12	140,53	14,00
11 – AP	326,35	44,46	110,85	2,94	0,14	149,47	13,90
12 – AP	293,28	44,61	106,91	2,74	0,15	151,31	13,90
13 – SG	280,27	40,68	101,20	2,77	0,15	152,68	13,87
Média – SG	1945,83	1270,79	382,85	5,10	0,66	94,76	13,62
Desvio Padrão - SG	158,42	34,82	43,26	0,25	0,05	2,10	0,11
Média - AP	319,26	44,09	116,73	2,75	0,14	148,50	13,92
Desvio Padrão - AP	43,18	2,48	21,19	0,16	0,01	5,47	0,06

SG – Canal São Gonçalo; AP – Arroio Pelotas; Área – área da seção transversal; Q – vazão; W – largura total da seção; H – profundidade hidráulica; Vel. – velocidade do fluxo; T – temperatura da água; Méd. – valor médio; * - direção do fluxo.

Tabela 21 – Resumo das medições realizadas com ADCP para cada seção transversal em 04/11/2022.

Seção Transversal	Área (m ²)	Q (m ³ /s)	W (m)	H Méd. (m)	Vel. Méd. (m/s)	Direção Méd.*	T (°C)
1 – SG	1668,47	673,74	320,92	5,20	0,404	91,22	19,4
2 – SG	1677,47	643,65	326,39	5,14	0,384	93,21	19,4
3 – SG	1680,78	652,70	341,41	4,92	0,388	93,62	19,6
4 – SG	2042,89	678,67	460,12	4,44	0,332	92,66	19,7
5 – SG	1813,21	678,66	397,28	4,56	0,374	94,08	19,6
6 – SG	1719,13	640,38	366,36	4,69	0,373	94,21	19,7
7 – SG	1714,84	599,84	362,50	4,73	0,350	95,47	19,7
8 – SG	1651,38	656,27	359,28	4,60	0,397	96,34	19,7
9 – AP	1652,02	664,85	373,69	4,42	0,402	96,94	19,8
10 – AP	273,75	-7,58	126,43	2,17	-0,028	345,08	19,9
11 – AP	251,50	2,32	98,64	2,55	0,009	221,14	20,0
12 – AP	221,38	-12,81	93,06	2,38	-0,058	312,14	20,1
13 – SG	217,59	-15,56	88,32	2,46	-0,072	318,73	20,2
Média - SG	1735,58	654,31	367,55	4,75	0,38	94,19	19,61
Desvio Padrão - SG	125,56	24,89	42,04	0,28	0,02	1,81	0,14
Média - AP	241,06	9,57	101,61	2,39	0,04	299,27	20,03
Desvio Padrão - AP	26,56	5,86	17,07	0,16	0,03	54,00	0,10

SG – Canal São Gonçalo; AP – Arroio Pelotas; Área – área da seção transversal; Q – vazão; W – largura total da seção; H – profundidade hidráulica; Vel. – velocidade do fluxo; T – temperatura da água; Méd. – valor médio; * - direção do fluxo.

De acordo com o disposto nas Tabelas acima, referente as direções dos fluxos em cada seção transversal, observa-se que para o dia 10/01/2022 os fluxos de água do Canal São Gonçalo apresentaram direção média de $106,08^{\circ} \pm 8,32^{\circ}$ caracterizado em direção Leste-Sudeste e para o Arroio Pelotas direção média de $315,56^{\circ} \pm 32,89^{\circ}$, para o dia 21/07/2022 as direções de fluxos de água média no SG foram de $94,76^{\circ} \pm 2,10^{\circ}$ e $148,50^{\circ} \pm 5,47^{\circ}$ no AP, caracterizado como Leste e Sul-Sudeste, respectivamente, por fim para o dia 04/11/2022 as direções de fluxos de água média foi de $94,19^{\circ} \pm 1,81^{\circ}$ caracterizado como Leste para o SG e $299,27^{\circ} \pm 54,00^{\circ}$ para o AP caracterizado como Oeste-Noroeste, conforme intervalo de direções apresentados anteriormente no Apêndice E.

Partindo da identificação de velocidades e direções de fluxo, distintos entre as seções transversais e os dados meteorológicos de direção e velocidade do vento, é possível avaliar sua influência em relação a magnitude dos vetores de velocidade de escoamento e suas respectivas direções, anteriormente apresentados no item 5.2.1.

Nas Figuras 21, 22 e 23 são apresentados a visualização dos vetores de velocidade de escoamento das seções transversais na zona de confluência e

apresentação visual da direção dos ventos nos dias das campanhas amostrais, quais foram comparados em paralelo aos mapas de seção transversal média apresentados no Apêndice G, analisando o comportamento gradual dos vetores tanto com a vista do plano da ZC, quanto das faixas de medição em cada seção ao longo da coluna d'água. Salienta-se que as principais faixas analisadas foram as duas primeiras na superfície da coluna, as quais, possuem maior contato com a atmosfera e por consequência maior probabilidade de influência direta dos ventos, assim como, as direções dos ventos discutidas e mencionadas neste item referem-se a análise apenas da microrregião (zona de confluência).

Em 10/01/2022 foi observado significativa influência dos ventos em relação a magnitude dos vetores de velocidade dos fluxos e suas direções, para o canal principal e o canal tributário, identificada inclinação dos vetores, além da diminuição da magnitude dos vetores para o canal principal. Diferente ao observado nos vetores do AP, que apresentaram maior magnitude e mantiveram comportamento similar ao longo da coluna d'água e a superfície (área de maior influência da ação dos ventos). A partir da análise da direção do vento em 21/07/2022, paralelo aos mapas das seções individuais, foi possível identificar pequenas variações próximo a superfície em duas seções (3 e 7), por se tratar de observações pontuais, infere-se que não há influência significativa dos ventos em relação a direção e magnitude dos vetores, em ambos os cursos d'água.

Por fim, para o dia 04/11/2022 é observado que ocorreu influência dos ventos em relação aos vetores de velocidade do canal principal, uma vez que, a magnitude dos mesmos apresentou-se menor, com variações das direções dos vetores próximo da superfície e com velocidades mais intermediárias, comparadas a 21/07/2022, podendo ser um fator importante, quais devem ser melhor investigados, já para o canal tributário é observado uma significativa inclinação dos vetores de velocidade, e com magnitudes significativamente inferiores as observadas no SG e nas campanhas amostrais anteriores.

Deste modo, pode-se inferir que houve influência dos ventos nordeste e nortenordeste para 10/01/2022 e ventos leste para 04/11/2022, sobre os vetores de velocidade, principalmente do Canal São Gonçalo, não ocorrendo influência apenas para a segunda campanha amostral de 21/07/2022 com ventos do norte e do sul. Para a primeira campanha, as direções dos vetores de velocidade apresentaram-se em variadas direções ocasionadas pelo baixo nível no SG e com a ocorrência dos

ventos NNE e NE, favoráveis para o escoamento em direção à Lagoa Mirim (não sendo observado um alinhamento dos vetores de velocidade no sentido da Lagoa Mirim devido ao barramento no escoamento devido a Barragem do Canal São Gonçalo), propiciando a influência significativa nos vetores de velocidade dos fluxos.

Sendo assim, infere-se que as direções dos ventos e condição de baixa e intermediária pluviosidade, podem ser grandes fatores favoráveis para ocorrer influência dos ventos sobre os vetores de velocidade dos fluxos.

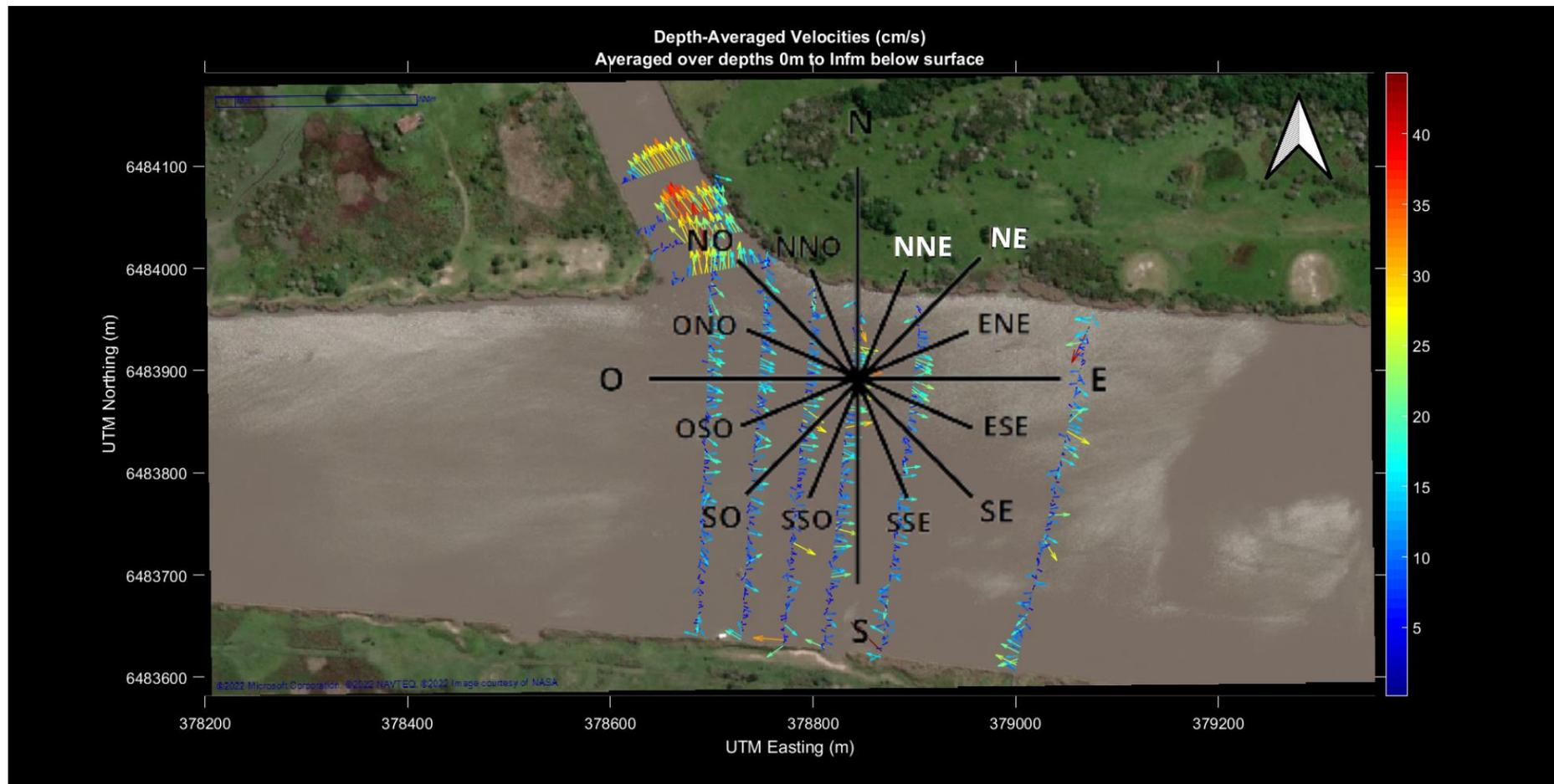


Figura 21 – Mapa de visualização do plano da zona de confluência de 10/01/2022 com indicação da direção do vento (rosa dos ventos NNE e NE).

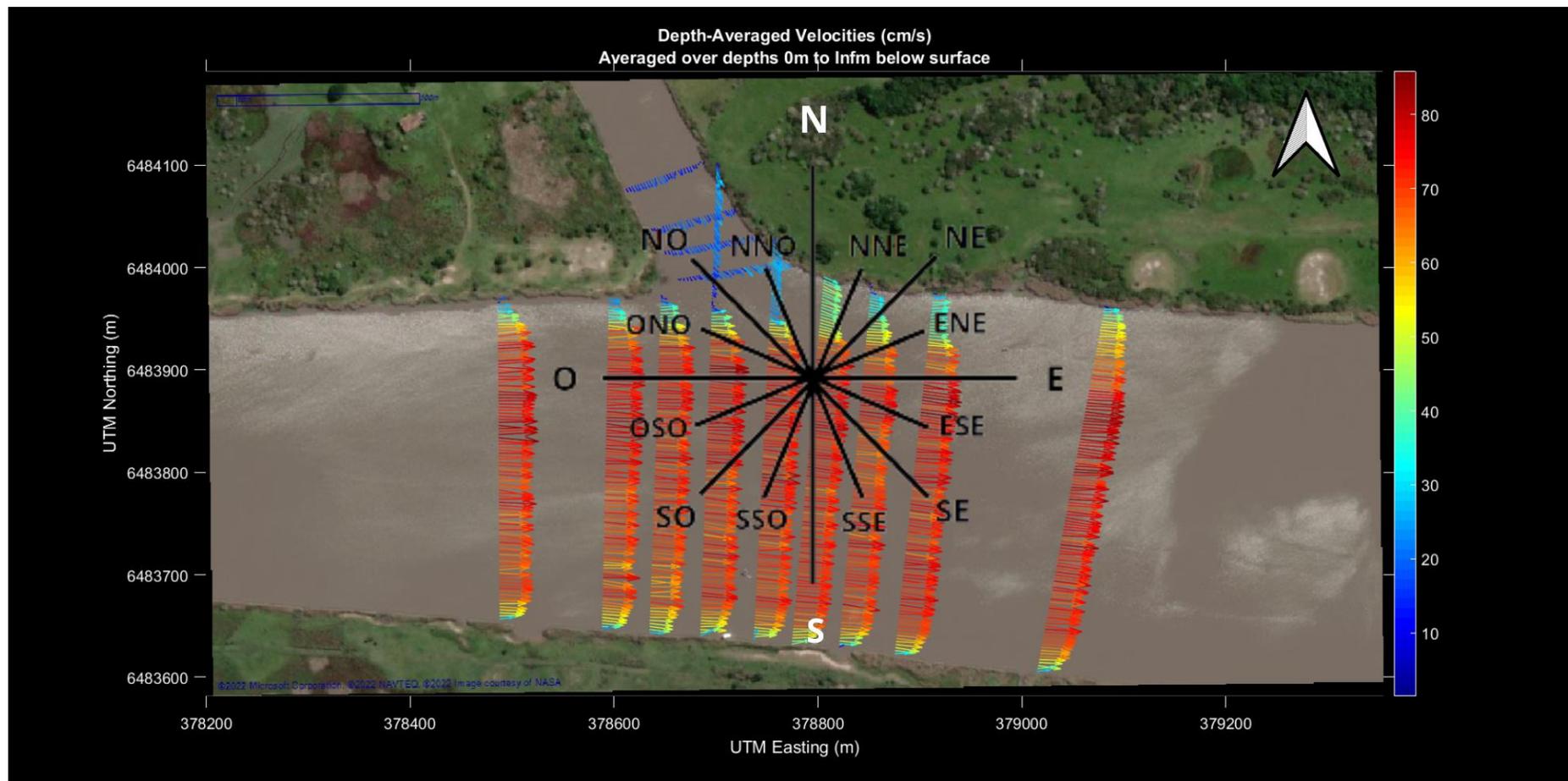


Figura 22 – Mapa de visualização do plano da zona de confluência de 21/07/2022 com indicação da direção do vento (rosa dos ventos N e S).

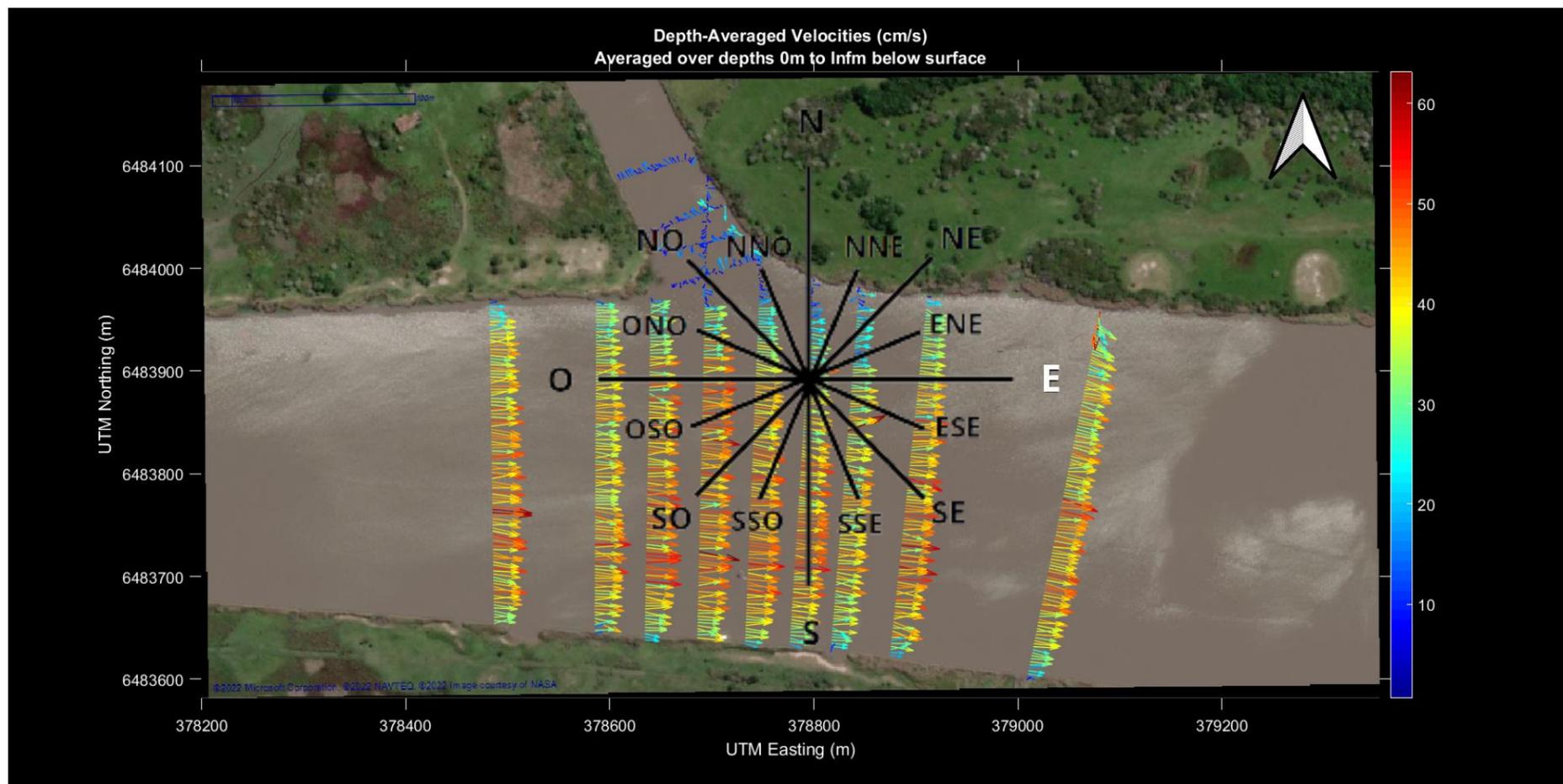


Figura 23 – Mapa de visualização do plano da zona de confluência de 04/11/2022 com indicação da direção do vento (rosa dos ventos E).

5.3 Características do sedimento de fundo

A construção da curva granulométrica foi confeccionada com os dados dispostos no Apêndice K, respectivos das porcentagens de sedimento acumulado passante e diâmetros característicos, obtidos a partir dos procedimentos de peneiramento e pipetagem (CPRM, 2015a; 2015b), empregado aos quatro pontos amostrais (Figura 12). De acordo com o exposto na Figura 24, o sedimento amostrado no ponto 1 para 10/01/2022 apresentou maior variação na curva granulométrica, sendo possível inferir que cerca de 50% dos sedimentos passaram pelas peneiras características de argila, e silte, e os outros 50% referem-se ao sedimento arenosos. Para 21/07/2022 e 04/11/2022 os sedimentos apresentaram comportamentos da curva e variações similares entre si, para a segunda campanha amostral é observado que o sedimento analisado possui cerca de 25% de silte e argila, 65% de areia e 10% de cascalho. O sedimento da terceira campanha amostral apresentou cerca de 30% de sedimento mais fino constituído de argila e silte, 65% de areia e cerca de 5% constituído por cascalho. De modo geral foi observado que os sedimentos amostrados no ponto 1 realizado no Arroio Pelotas, em ambas as campanhas amostrais caracterizam-se em 50% de grãos mais finos compostos por silte e argila e 50% de grãos mais grossos de areia e cascalho em condição de baixa pluviosidade e por sedimentos mais grosseiros com areia e uma pequena porcentagem de cascalho para as campanhas realizadas em condições de alta pluviosidade.

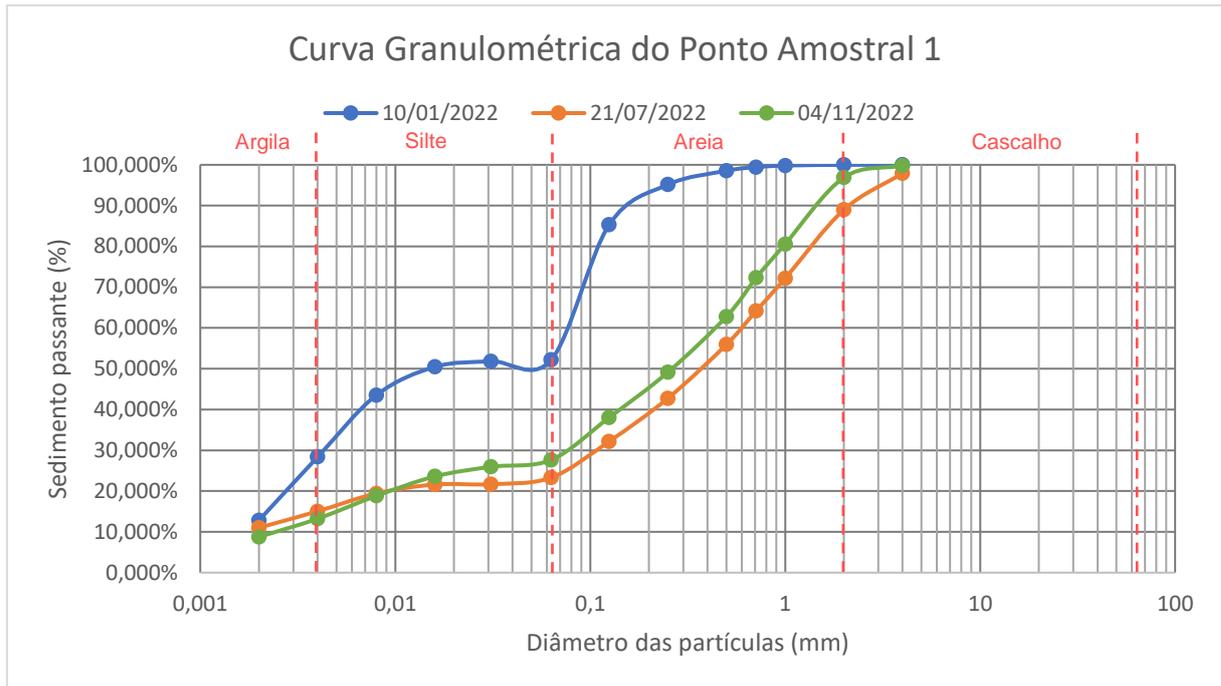


Figura 24 – Curva granulométrica do sedimento do ponto 1 para as três campanhas amostrais.

No ponto 2 para as três campanhas (Figura 25) a curva granulométrica apresentou comportamento semelhante, em que, observou-se que aproximadamente 4% dos sedimentos de 10/01/2022, 21/07/2022 e 04/11/2022 caracterizaram-se em sedimentos argilosos e siltosos, cerca de 88%, 75% e 82% dos sedimentos respectivos das três campanhas amostrais são arenosos, restando cerca de 8, 14 e 21% de sedimentos mais grosseiros de cascalho. Deste modo, os sedimentos do ponto 2 para ambas as campanhas amostrais caracterizam-se como sedimentos mais arenosos, apresentando em sua composição pouca quantidade de sedimentos siltosos e argilosos, assim como de cascalhos. Vale ressaltar que o ponto 2 é respectivo da zona de confluência do Arroio Pelotas com o Canal São Gonçalo.

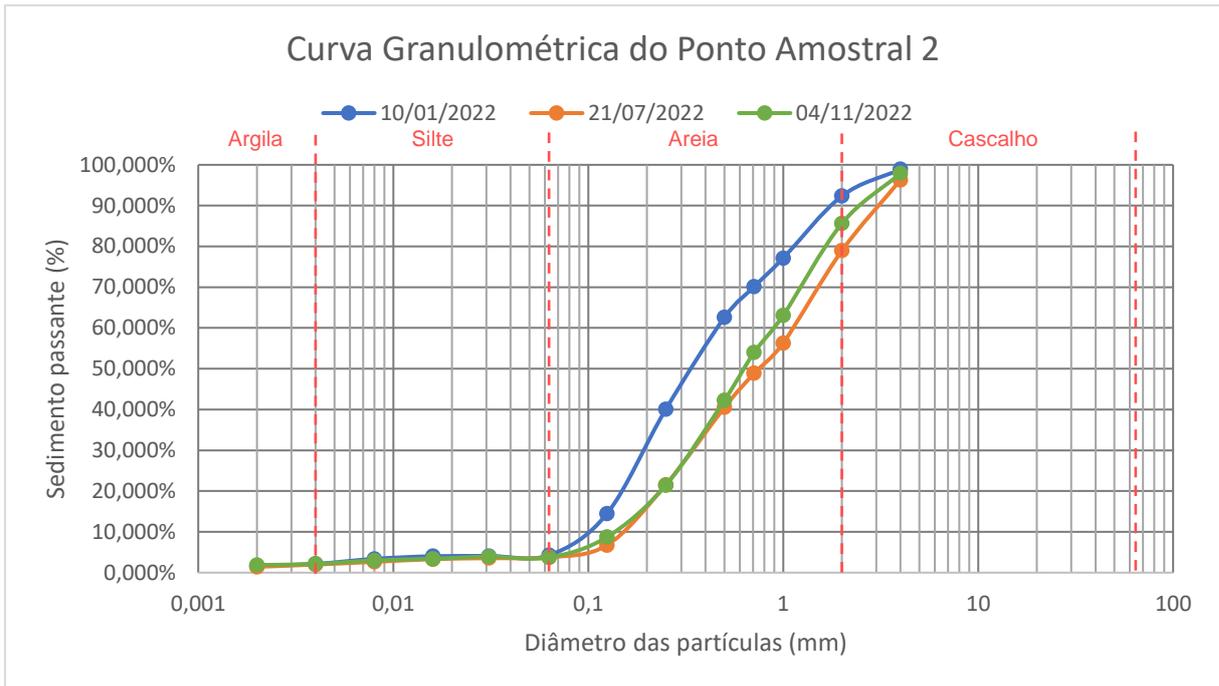


Figura 25 – Curva granulométrica do sedimento do ponto 2 para as três campanhas amostrais.

Já os pontos 3 e 4 das campanhas amostrais foram coletados a jusante e a montante do Canal São Gonçalo, respectivamente. Estes apresentaram curvas granulométricas significativamente similares entre as campanhas e entre os pontos, uma vez que, estes encontram-se no mesmo corpo hídrico com poucos metros de distância, o que já se espera que possuam um comportamento similar entre eles.

No ponto 3 observamos que os sedimentos que se caracterizariam em grãos mais finos como argila e silte são basicamente nulos para os dias 10/01/2022, 21/07/2022 e 04/11/2022 devido quantidades bem baixas, com acúmulos de 0,4; 0,2 e 1,6%, respectivamente. Quando analisada a porcentagem de sedimento que passa na peneira com abertura de 2mm, para os dias 10/01/2022, 21/07/2022 e 04/11/2022 cerca de 91, 93 e 91% dos sedimentos caracterizaram-se como sedimentos arenosos, e por consequência os outros 8, 7 e 7% ficam retidos nas peneiras de grãos mais grosseiros (>2mm), característicos de cascalho. Podendo-se inferir que o sedimento do ponto 3 é constituído basicamente de sedimentos grosseiros (areia e cascalho).

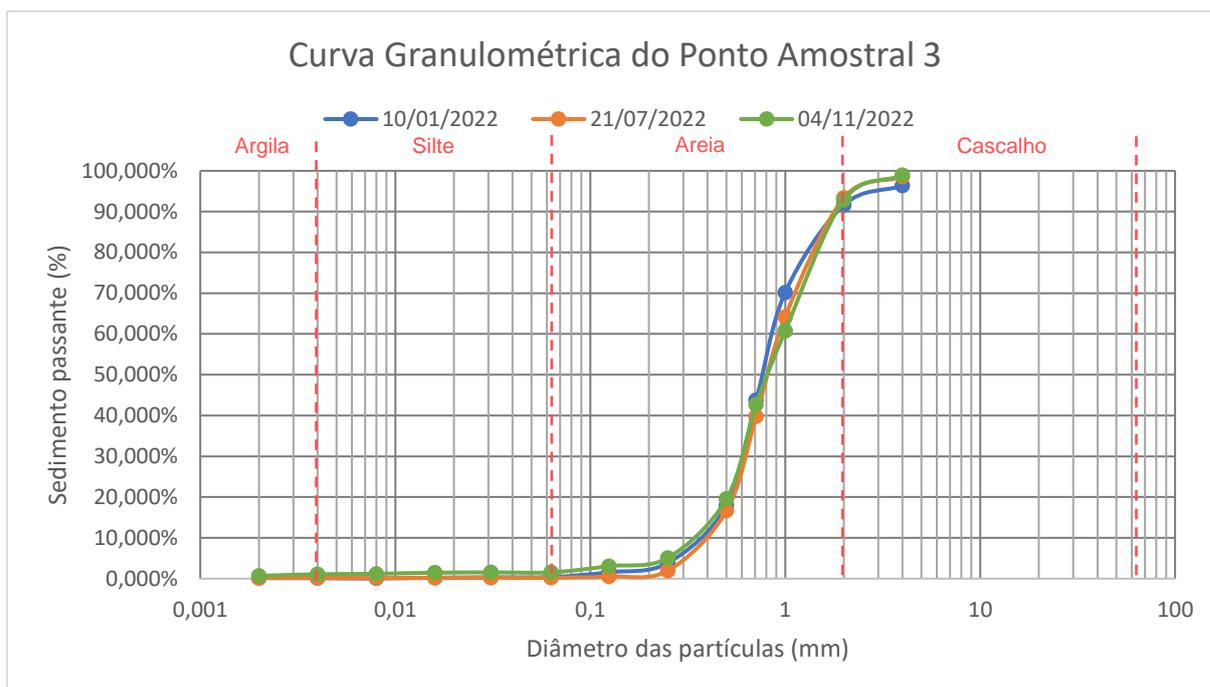


Figura 26 - Curva granulométrica do sedimento do ponto 3 para as três campanhas amostrais.

Segundo a curva granulométrica do ponto amostral 4 apresentada na Figura 27, observa-se que para os dias 10/01/2022 e 04/11/2022 cerca de 98% dos sedimentos caracterizam grãos de areia e 2% grãos de cascalho. Para o dia 21/07/2022 cerca de 92% dos grãos são de areia, resultando em um acúmulo de sedimento retido de 8% nas aberturas superiores a 2mm que caracterizam cascalho. A partir disto, foi possível inferir que o ponto amostral 4 em ambas as campanhas amostrais é constituído com maior quantia de grãos grosseiros com areia e cascalho, resultando em um acúmulo <math><3\%</math> de sedimento com grãos finos (argila e silte).

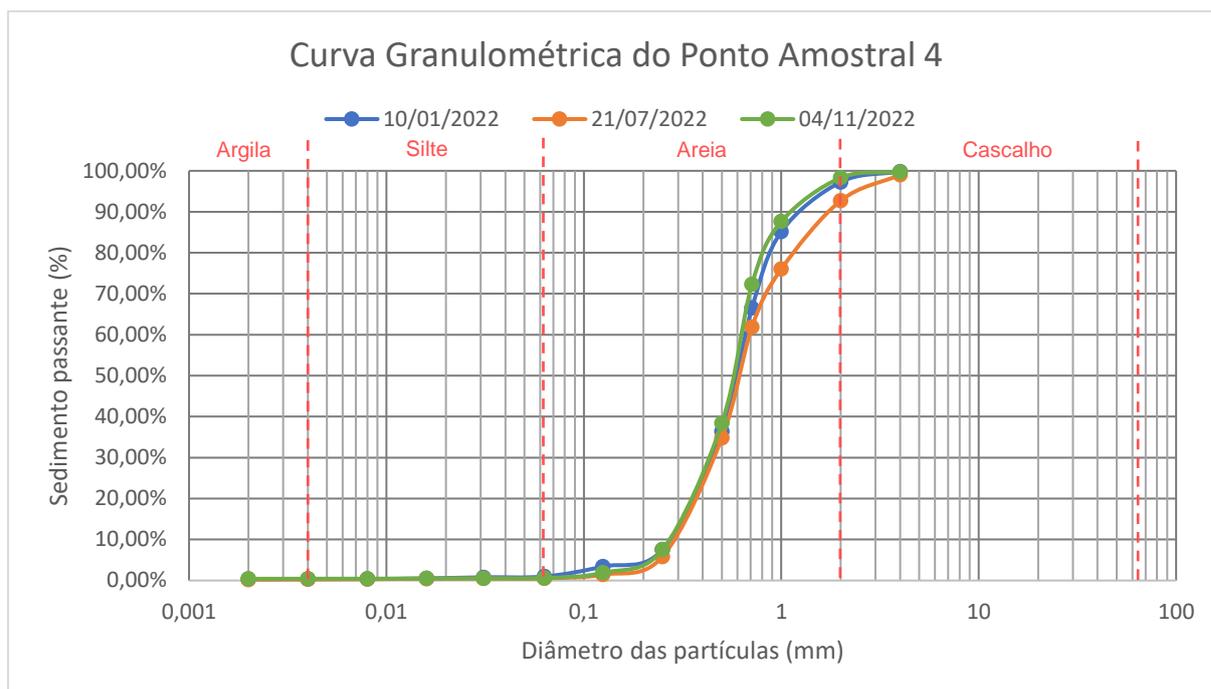


Figura 27 – Curva granulométrica do sedimento do ponto 4 para as três campanhas amostrais.

De modo geral, verificou-se uma maior quantidade de sedimentos compostos de grãos finos para os pontos 1, diferentemente para os pontos 2, 3 e 4, quais apresentaram um maior acúmulo de grãos grosseiros. Sendo assim, é possível inferir que o Arroio Pelotas e o Canal São Gonçalo na porção analisada, apresentam variação granulométrica entre si, porém com características similares para as campanhas amostrais, diferentemente do estudo realizado a montante do Canal São Gonçalo por Gonçalves *et al.* (2021), em que, foi observado carência de padrão do sedimento de fundo, possivelmente devido a variabilidade de fontes para o aporte de sedimento do canal, destacando a Laguna dos Patos qual também possui grande variabilidade na composição dos sedimentos de fundo (HARTMANN e HARKOT, 1990), e contribui para o Canal São Gonçalo e por consequência o Arroio Pelotas dependendo das suas condições de fluxo.

Devido as amostras de sedimento do Arroio Pelotas serem na posição a jusante, ou seja, no seu exutório, o sedimento encontrado é advindo de processos erosivos e de deposição que ocorrem no curso hídrico e que são transportados do seu montante para jusante (MEDEIROS e CORDERO, 2008), devido seu principal uso ser para atividades e produções rurais, há um favorecimento no transporte de sedimentos (DORNELLES, 2020).

Além do exposto, podemos correlacionar as granulometrias dos sedimentos encontrados em ambos corpos hídricos com as características de fluxo de ambos, em que, para o Arroio Pelotas onde encontram-se o ponto amostral 1 significativa presença de sedimentos mais finos, o que é favorecido para ambientes que possuem uma vazão e velocidade de fluxo inferior, possibilitando que o transporte do sedimento fino ocorra por mais tempo no corpo hídrico e posterior deposição a jusante (ALMEIDA, 2019), diferente das características do centro da zona de confluência e do canal São Gonçalo, que devido seu grande volume, vazão e velocidades dos fluxos mais altas, com maior capacidade de arraste, ocorre o depósito de sedimentos mais grosseiros, que devido suas características sedimentam-se primeiro, seguindo os sedimentos finos em transporte na coluna d'água.

Como forma de compreendermos as influências dos sedimentos em relação as velocidades dos fluxos na zona de confluência em estudo, uma vez que, realizou-se a identificação dos diâmetros característicos a partir da curva granulométrica, com destaque para o diâmetro característico D90 e D84, que corresponde ao diâmetro do grão para o qual 90% e 84% do material amostrado são mais finos, respectivamente, utilizados para a obtenção do parâmetro de rugosidade e a relação de rugosidade em grande ou pequena escala, obtidos a partir da razão entre a profundidade hidráulica e D84 (CAROLLO e FERRO, 2021). Os diâmetros característicos, seguidos de suas médias e desvio padrão são apresentados nas Tabelas 22 a 25, para cada ponto amostral considerando as três campanhas amostrais realizadas no estudo.

Tabela 22 – Diâmetros característicos do ponto amostral 1.

Passagem (%)	Diâmetro característico - Ponto 1 (mm)			Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022		
D10	ND	ND	0,003	0,003	ND
D35	0,006	0,160	0,110	0,092	0,079
D50	0,015	0,380	0,300	0,232	0,192
D65	0,085	0,700	0,550	0,445	0,321
D84	0,120	1,600	1,200	0,973	0,766
D90	0,160	2,000	1,550	1,237	0,959

Tabela 23 – Diâmetros característicos do ponto amostral 2.

Passagem (%)	Diâmetro característico - Ponto 2 (mm)			Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022		
D10	0,100	0,160	0,130	0,130	0,030
D35	0,230	0,400	0,400	0,343	0,098
D50	0,340	0,700	0,620	0,553	0,189
D65	0,550	1,400	1,100	1,017	0,431
D84	1,400	1,500	1,900	1,600	0,265
D90	1,800	3,000	2,500	2,433	0,603

Tabela 24 – Diâmetros característicos do ponto amostral 3.

Passagem (%)	Diâmetro característico - Ponto 3 (mm)			Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022		
D10	0,380	0,400	0,350	0,377	0,025
D35	0,650	0,690	0,650	0,663	0,023
D50	0,790	0,800	0,800	0,797	0,006
D65	0,900	1,000	1,200	1,033	0,153
D84	1,500	1,600	1,600	1,567	0,058
D90	1,850	1,800	1,800	1,817	0,029

Tabela 25 – Diâmetros característicos do ponto amostral 4.

Passagem (%)	Diâmetro característico - Ponto 4 (mm)			Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022		
D10	0,270	0,290	0,270	0,277	0,012
D35	0,490	0,500	0,480	0,490	0,010
D50	0,600	0,610	0,590	0,600	0,010
D65	0,690	0,750	0,650	0,697	0,050
D84	0,950	1,400	0,900	1,083	0,275
D90	1,300	1,800	1,100	1,400	0,361

Podemos observar que a média da D90 obtida para cada ponto amostral foram de 1,237mm para o ponto 1, 2,433mm para o ponto 2, 1,817mm para o ponto 3 e 1,400mm para o ponto 4, aplicando-os na equação 4 obteve-se o coeficiente de rugosidade de Manning para cada ponto, conforme apresentado na Tabela 26, além da obtenção da profundidade de fluxo relativa (H/D_{84}). Sendo nos pontos próximos da zona de confluência os que apresentaram rugosidade levemente superior em relação aos respectivos pontos de montante do Arroio Pelotas e do canal São Gonçalo, em que os coeficientes de rugosidade se apresentaram inferiores.

Tabela 26 – Coeficiente de rugosidade de Manning e profundidade de fluxo relativa.

Ponto Amostral	Coeficiente de rugosidade de Manning		H/D ₈₄		
	n		10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022
1	0,039		19567,452	1730,886	2053,046
2	0,044		3044,877	3338,399	2402,155
3	0,042		2909,711	3112,648	2872,765
4	0,040		5216,836	3953,830	5776,763

Nota: para o cálculo da profundidade de fluxo relativa, foram utilizadas as profundidades hidráulicas das seções transversais (12, 5, 8 e 1) mais próximas dos pontos de amostragem 1, 2, 3 e 4 respectivamente, conforme disponibilização dos dados na Tabela 19, exceção para o ponto amostral 1 do dia 10/01/2022 que possui profundidade hidráulica de 4,956m.

O coeficiente de rugosidade, associada às condições topográficas do local oferece resistência ao fluxo, e os processos morfogenéticos (movimentação de material e escoamento superficial da água) atuantes modelam o fundo dos corpos hídricos quando a resistência ao fluxo é superada e com isto, tem-se o transporte de sedimentos e deposição dos mesmos (MARTINS e STEVAUX, 2004). Aponta-se que a rugosidade de diferentes elementos das seções transversais é capaz de produzir interferências na estrutura da velocidade do fluxo (VAZ, 2013), sendo a interação da vegetação com o fluxo de um corpo hídrico a principal responsável pela resistência (VITORINO, 2017).

Perante os coeficientes de rugosidade obtidos, verifica-se que não há alteração significativa entre os pontos amostrados, em que, todos os pontos apresentaram coeficiente de rugosidade com valores muito próximos. Este fato, pode ser melhor investigado a partir da relação da condição hidráulica da rugosidade de grande e/ou pequena escala apontado por Carollo e Ferro (2021), apresentado na Tabela 26, nas colunas 3, 4 e 5, em que, para as relações $H_{méd.}/D_{84} > 4$ refere-se a condição de rugosidade de pequena escala (BATHURST, 1982) em que menor é a resistência do fluxo e por consequência o efeito de rugosidade no fundo em relação a velocidade é baixo, diferentemente quando $1 \leq H_{méd.}/D_{84} \leq 4$ que indica que o local em estudo encontra-se em condição de rugosidade de larga escala (BATHURST, 1988; FERRO e PECORARO, 2000), qual infere que maior é a resistência ao fluxo e portanto há efeito da rugosidade do sedimento de fundo em relação a velocidade de fluxo (POWELL, 2014).

Diante disto, observa-se que para todas as campanhas amostrais, as relações apresentaram-se com menor resistência ao fluxo. Sendo assim infere-se que houve uma resistência do fluxo na área em estudo durante as campanhas amostrais

realizadas, em que, a rugosidade do sedimento de fundo não influenciou a velocidade de fluxo.

6 Conclusões

Foi possível realizar a análise hidrodinâmica como um conjunto de aplicações hidrométricas, hidrossedimentológicas e hidrológicas, e a partir disto, verificada importância de análises hidrodinâmicas em zonas de confluência, uma vez que tratam-se de ambientes complexos, destacando melhor investigação, em condições variadas e distintos cursos d'água, caso da condição do Canal São Gonçalo, um curso hídrico de grande importância econômica, ambiental e social para a região, diretamente influenciado pela Laguna dos Patos e Lagoa Mirim. Associado a isso, o Arroio Pelotas, pela sua importância, com relação ao abastecimento público do município de Pelotas, o qual recebe influência direta do canal e para o canal. Portanto, as principais conclusões foram:

- I. Com a medição e obtenção de dados com perfiladores acústicos foi possível verificar a diferença de comportamento dos cursos d'água em condições hidrológicas distintas, considerando influências na vazão, velocidade e direção de fluxo; as direções dos ventos influenciaram na direção e magnitude dos vetores de velocidade de fluxo do Canal São Gonçalo e do Arroio Pelotas; o escoamento foi impactado pela influência dos ventos, principalmente nas condições de baixa pluviosidade, que resultaram em baixas profundidades, remetendo à mudanças de nível, vazões e velocidades menores;
- II. Com a realização de medições a montante, jusante e na zona de confluência de ambos os cursos d'água, foram observadas vazões, velocidade de fluxo e profundidade hidráulica superiores nos períodos de alta pluviosidade (dominância do SG), e inferiores nos períodos de intermediária (dominância do SG) e baixa pluviosidade (dominância do AP), respectivamente; foram identificadas as condições hidrodinâmicas de escoamento, comumente presentes na ZC, sendo estes: zona de deflexão; zona de estagnação; zona de separação e recirculação; zona de aceleração; e zona de recuperação do fluxo;

- III. No Arroio Pelotas na ZC ocorre presença significativa de sedimentos finos (argila e silte) e de sedimentos grosseiros (areia). No centro da zona de confluência e no canal São Gonçalo (a montante e a jusante da ZC), ocorre à presença predominante de sedimentos mais grosseiros (areia e cascalho), embora em ambos tenha sido encontrada uma variação característica da granulometria de sedimento com pouco volume de sedimentos finos; remete-se a uma resistência de fluxo muito pequena nos pontos amostrados e, por essa razão, os sedimentos de fundo de ambos os corpos hídricos não influenciaram, diretamente, na hidrodinâmica dos fluxos;
- IV. A partir dos resultados e discussões apresentadas, a hipótese I foi aceita.

7 Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se a realização de maior número de campanhas amostrais contrastando períodos hidrológicos distintos, de alta e baixa pluviosidade, para melhor descrever a hidrodinâmica da zona de confluência. Ressalta-se interessante a realização de medições topobatimétricas, a qual permitirá a identificação de alterações com relação a topobatimetria na zona de confluência, assim como o acompanhamento de possíveis fenômenos ocorrentes no ecossistema. Também é recomendado avaliar a concentração e transporte de sedimento em suspensão, além do sedimento de fundo, possibilitando uma análise hidrodinâmica integral e aprofundada das influências destes no escoamento de fluxo, bem como, realizar a amostragem de sedimento de fundo em cada seção transversal abrangendo a área em estudo de modo mais representativo e detalhado. Para a análise da influência dos ventos em relação aos vetores de velocidade dos fluxos seria importante a realização de campanhas amostrais em diferentes estações e sob influência de diferentes eventos meteorológicos e, por consequência, diferentes condições de direção e velocidade do vento. Além destes, a instalação de estação de monitoramento no Arroio Pelotas, de forma a viabilizar o acompanhamento hidrometeorológico da região e das condições características dos fluxos para construção de um banco de dados históricos. Por fim, ressalta-se a importância da

realização de estudos com esta temática em outras zonas de confluência no Canal São Gonçalo e complexo lagunar da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo.

Referências Bibliográficas

ALM – Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. 2023. **Bacia Hidrográfica Mirim – São Gonçalo (BHMSG)**. Disponível em: <https://agencialagoamirim.com.br/bacia-hidrografica/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ALM – Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. 2022. **Exportação de dados**. Disponível em: <http://pcdweb.dualbase.com.br>. Acesso: 11 jul. 2022.

ALM; NEPEHIDROSSEDI - Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim; Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e Sedimentos para o Manejo de Bacias Hidrográficas. 2022. **SIIRH**. Disponível em: <http://www.hidrosemi.com/siirh>. Acesso em: 04 nov. 2022.

ALMEIDA, Thais Rodrigues. **Dinâmica de transporte de sedimento não-uniforme em um micro-reservatório no semiárido**. 2019. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; M., SPAROVEK. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. V. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, M.M; MEDINA, A. L.; PINTO, A. M. T.; ANTUNES, A. C. N.; SANCHES FILHO, P. J.; RIBEIRO, A. S.; VIEIRA, M. A. Evaluation of the Concentration of Cu, Zn, Pb and Cr in Different Fish Species from the São Gonçalo Channel in Pelotas-RS, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 2, p. 285-296, 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Medição de Vazão pelo Método Acústico Doppler (ADCP) – Básico**. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2258>>. Acesso em: 11 mai. 2022.

ANCHIETA, T. F. de F.; LIMA, F. N.; MONTE-MOR, R. C. de A.; VIEIRA, E. M. Simulação da Área de Inundação por meio da Modelagem Hidráulica em Canal Urbano: Estudo de Caso Córrego Jatobá, em Belo Horizonte, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1348-1367, 2020.

ARCEMENT, G. J. JR.; SCHNEIDER, V. R. **Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains**. Water-supply paper 2339. Denver: U.S. Geological Survey, 38p., 1989.

BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3ª Ed. Belo Horizonte: UFMG, 473p., 2010.

BARTELS, Guilherme Kruger. **Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. 2015. 87 f. Dissertação (Dissertação em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

BATCHELOR, G. K. **An introduction to fluid dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 631p., 1967.

BATHURST, J. C. Flow resistance in boulder-bed streams. In: HEY, R.D.; BATHURST, J. C.; THORNE, C. R. (eds.). **Gravel-bed Rivers**. Wiley: Chichester, p. 443-462, 1982.

BATHURST, J. C. Flow Resistance Estimation in Mountain Rivers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 111, n.4, p.565-740, 1985.

BATHURST, J.C. Velocity profile in high-gradient, boulder-bed channels. In: **Proceedings of International Conference on Fluvial Hydraulics**. IAHR: Budapest, p. 29–34, 1988.

BENNERT, Altair. **MORFOLOGIA E ESTRUTURA DE FLUXO NA FORMAÇÃO DE AMBIENTES DE CONFLUÊNCIA: ESTUDO DE CASO DOS RIOS PARANÁ E PIQUIRI**. 2018. 111 f. Dissertação (Dissertação em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2018.

BEST, J.L. Flow dynamics at river channel confluences: Implications for sediment transport and bed morphology. In: ETHRIDGE, F.G.; FLORES, R.M.; HARVEY, M.D. Recent Developments in Fluvial Sedimentology. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**, v. 39, p. 27-35, 1987.

BEST, J. L. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. **Sedimentology**, v. 35, p. 481-498, 1988.

BEST, J.L.; REID, I. Separation zone at open channel junctions. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 110, n.11, p.1588-1594, 1984.

BEST, J.L. The morphology of river channel confluences. **Progress in Physical Geography**, v. 10, p. 157-174, 1986.

BIRON P.; BEST, J. L.; ROY, A. G. Effects of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 122, p. 676-682, 1996.

BOCCHI, J.P.P.; PINTO, L. C. AVALIAÇÃO DAS ALTURAS CONJUGADAS DE UM RESSALTO HIDRÁULICO NO CÓDIGO OPENFOAM PARA DIFERENTES NÚMEROS DE FROUDE. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anai eletrônicos** [...]. Florianópolis: SBRH, p., 2017.

BONCZYNSKI, Reginaldo Galski. **MODELAGEM GEOMÉTRICA DO CANAL DE SÃO GONÇALO ATRAVÉS DO LEVANTAMENTO DE SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS**. 2018. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Geoprocessamento) – Geoprocessamento. Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2018.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Normas e Recomendações Hidrológicas**. Brasília: DNAEE, 1970.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília: CONAMA, 2005.

BRISTOW, C.S.; BEST, J.L.; ROY, A.G. Morphology and facies models of channel confluences. *In*: MARZO, M.; PUIDEFABREGAS, C. (eds) Aluvial Sedimentation. **International association of sedimentologists special publication**, v. 17, p. 91-100, 1993.

BRUNNER, G. W. **HECK-RAS River Analysis System**: Hydraulic Reference Manual. Davis: U.S. Army Corps of Engineers, 520p., 2020.

CAROLLO, F. G.; FERRO, V. Experimental study of boulder concentration effect on flow resistance in gravel bed channels. **Catena**, v. 205, p. 105458, 2021.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 599p., 2008^a.

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 154p., 2000.

CARVALHO, T. M. de. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEIOS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.1, n.1, p.73-85, 2008b.

CETESB/ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Organizadores: Carlos Jesus Brandão, *et al.* São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CHAVES, R.D.; GONÇALVES, G. M. S.; BOEIRA, L. S.; SANTOS, G. B.; TERRA, V. S. S.; COLLARES, G. L. Estudo fisiográfico de uma pequena bacia hidrográfica utilizando um Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 38, p. 49-63, 2021.

CHOW, V. T. **Open Channel Hydraulics**. 1^a Ed. Nova York: McGraw-Hill, 680p., 1959.

CONSTANTINESCU, G.; MIYAWAKI, S.; RHOADS, B.; SUKHODOLOV, A.; KIRKIL, G. Structure of turbulent flow at a river confluence with momentum and velocity ratios close to 1: Insight provided by an Eddy-resolving numerical simulation. **Water Resources Research**, v. 47, n. 5, W05507, 2011.

CONSTANTINESCU, G.; MIYAWAKI, S.; RHOADS, B.; SUKHODOLOV, A. Numerical analysis of the effect of momentum ratio on the dynamics and sediment-entrainment capacity of coherent flow structures at a stream confluence. **Journal Geophysical Research: Earth Surface**, v. 117, F04028, 2012.

CONSTANTINESCU, G.; MIYAWAKI, S.; RHOADS, B.; SUKHODOLOV, A. Influence of planform geometry and momentum ratio on thermal mixing at a stream confluence with a concordant bed. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 16., p. 845-873, 2016.

COON, W. F. **Estimation of roughness coefficients for natural stream channels with vegetated banks**. Water-supply paper: 2441. Denver: U.S. Geological Survey, 133 p., 1998.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Análise Granulométrica – Método peneiramento**. Manaus: CPRM, 5p., 2015a.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Análise Granulométrica – Método por pipetagem**. Manaus: CPRM, 11p., 2015b.

DORNELLES, Viviane Rodrigues. **Aplicabilidade de curvas-chave para modelagem de produção de sedimentos a partir da Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)**. 2020. 175f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

ENGEL, F. L.; JACKSON, P.R. **The Velocity Mapping Toolbox: User Guide For Version 4.09**. Reston: USGS, 2017.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Stream flow. In: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Volunteer stream monitoring: a methods manual**. Washington: EPA 1997. Cap. 1, p. 134-138.

FERGUSON, R. Flow resistance equations for gravel and boulder-bed streams. **Water Resources Research**, v. 43, w05427, 2007.

FERNANDES, F. D. M., COLLARES, G. L., CORTELETTI, R. A água como elemento de integração transfronteiriça: o caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. **Estudos Avançados**, 35, p. 59-77, 2021.

FERRARIN, C.; MADRICARDO, F.; RIZZETTO, F.; MC KIVER, W.; BELLAFFIORE, D.; UMGIESSER, G.; KRUSS, A.; ZAGGIA, L.; FOGLINI, F.; CAREGATO, A.; SARRETTA, A.; TRINCARDI, F. Geomorphology of Scour Hole at Tidal Channel Confluences. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, 6 ed., v. 123, p. 1386-1406, 2018.

FERRO, V.; PECORARO, R. Incomplete self-similarity and flow velocity in gravel bed channels. **Water Resources Research**, v. 36, p. 2761-2769, 2000.

FIA, R.; MATOS, A. T.; CORADI, P. C.; PEREIRA-RAMIREZ, O. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009.

FRENCH, R.H. **Open-channel hydraulics**. Singapura: MCGraw-Hill, 705p., 1986.

GONLÇAVES, George Marino Soares. **Estimativa de Concentração de Sedimento em Suspensão no Canal São Gonçalo a partir de equipamentos acústicos**. 2020. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2020.

GONÇALVES, G. M. S.; BARTELS, G. K.; LIMA, L. S.; BOEIRA, L. dos S.; COLLARES, G. L. Continuous discharge monitoring of the Mirim-São Gonçalo system by the index velocity rating curve method. **Journal of Hydroinformatics**, v.0, n.0, 2023.

GONÇALVES, G. M. S.; SANTOS, G. B. dos; BOEIRA, L. dos S.; TABARELLI, C. H. G.; MILANI, I. C. B.; SUZUKI, L. E. A. S.; COLLARES, G. L. Granulometria do sedimento de fundo do canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 2, p. 60-72, 2021.

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. **Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim**. In: FILIPPINI ALBA, J. M. (Ed.). Sustentabilidade socioambiental da bacia da Lagoa Mirim. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 19-30, 2010.

GRIMMLER; Marcelo Uarthe. **Estudo da hidrodinâmica e do despejo de esgotos no canal São Gonçalo e na região do alto estuário da Lagoa dos Patos**. 2017. 68f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Programa de Pós-Graduação. Instituto de Matemática, Estatística e Física. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2017.

GUALTIERI, C.; IANNIRUBERTO, M.; FILIZOLA, N. On the mixing of rivers with a difference in density: The case of the negro/Solimões confluence, Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 578, p. 124029, 2019.

HAGER, W.H.; CASTRO-ORGAZ, O. William Froude and the Froude Number. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.143, n.4, p. 02516005, 2017.

HARTMANN, C.; HARKOT, P.F.C. INFLUÊNCIA DO CANAL SÃO GONÇALO NO APORTE DE SEDIMENTOS PARA O ESTUÁRIO DA LAGUNA DOS PATOS – RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20 (1-4), p. 329-332, 1990.

HARTMANN, C.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROSA, R.; SANO, E. E. Avaliação da área e inundação do canal de São Gonçalo, através de imagens TM-Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4. (SBSR)., 1986, Gramado. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 1986. v. 2, p. 654-659.

HAYNES, W. M.; LIDE, D. R.; BRUNO, T. J. **CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data**. London: CRC Press, 2014.

HECK, C. R.; DA SILVA, P. F.; SIMON, A. L. H. EXPANSÃO DA ÁREA URBANA DE PELOTAS SOBRE O SETOR DA PLANÍCIE LAGUNAR LOCALIZADO NA MARGEM ESQUERDA DO CANAL SÃO GONÇALO – RS. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.444–455, 2012.

HORNA-MUNOZ, D.; CONSTANTINESCU, G.; RHOADS, B.; LEWIS, Q.; SUKHODOLOV, A. Density Effects at a Concordant Bed Natural River Confluence. **Water Resources Research**, v. 56, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019WR026217>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019WR026217>. Acesso em: 15 jan. 2023.

HUI, C.; LI, Y.; LIAO, Z.; ZHANG, W.; ZHANG, H.; NIU, L.; WANG, L. Confluences characteristics determine the influence scope of microbial Community from confluence hydrodynamic zone on river network. **Journal of Hydrology**, v. 612, part C, 128288, 2022.

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas. **Bioma Pampa**. Disponível: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa>. Acesso: 12 nov. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada**: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com ano de referência 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Tempo**. Estação CAPAO DO LEAO (PELOTAS) A887. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A887>. Acesso em: 05 out. 2022.

JACCON G. **Curso sobre Técnicas de Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios**. Brasília: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica/MME, 1984.

KASBURG, Roberta Machado. **Precipitação e velocidade do vento na oscilação dos níveis d'água do canal São Gonçalo-RS**. 2016. 79 f. Dissertação (Dissertação em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2016.

KENNEDY, B. A. On Playfair's law of accordant junctions. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 9, p.153-173, 1984.

KFERFVE, B. Comparative Oceanography of Coastal Lagoons. In **Estuarine Variability**. New York, New York: Academic Press, p. 63–81, 1986.

- KILIC, S. G.; ARAL, M. M. A fugacity based continuous and dynamic fate and transport model for river networks and its application to Altamaha River. **Science of the Total Environment**, v. 407, n.12, p. 3855– 3866, 2009.
- KONSOER, K.M.; RHOADS, B.L. Spatial-temporal structure of mixing interface turbulence at two large river confluences. **Environmental Fluid Mechanics**, v.14, p. 1043-1070, 2014.
- LEWIS, Q.W.; RHOADS, B.L. Rates and patterns of thermal mixing at a small stream confluence under variable incoming flow conditions. **Hydrological Processes**, v.29, p. 4442-4456, 2015.
- LI, X., LIU, B., WANG, Y., YANG, Y., LIANG, R., PENG, F., XUE, S., ZHU, Z. E LI, K. Hydrodynamic and environmental characteristics of a tributary bay influenced by backwater jacking and intrusions from a main reservoir. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.24, p. 5057-5076, 2020.
- LI, K.; TANG, H.; YUAN, S.; XU, L.; XIAO, Y.; GUALTIERI, C. Temporal variations of sediment and morphological characteristics at a large confluence accounting for the effects of floodplain. **International Journal of Sediment Research**, v. 37, p. 619-638, 2022.
- LYRA, G. B.; CECÍLIO, R. A.; ZANETI, S. S.; LYRA, G.B. Coeficiente de rugosidade de Manning para o rio Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online], v. 14, n. 4, p. 343-350, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400001>. Acesso: 09 dez. 2021.
- LUZ, L. D.; STEVAUX, J. C.; PAROLIN, M.; SILVA, A. Hidrodinâmica da Confluência dos Rios Cuiabá e Paraguai, Pantanal Mato-grossense. **Revista do Departamento de Geografia USP**, p. 1-10, 2017.
- LUZ, L. D.; SZUPIANY, R. N.; PAROLIN, M.; SILVA, A.; STEVAUX, J. C. Obtuse-angle vs. confluent sharp meander bends: insights from the Paraguay-Cuiabá confluence in the Tropical Pantanal wetlands, Brazil. **Geomorphology**, v. 348, p. 1-14, 2020.
- MACHADO, Gilnei. **Qualidade das Águas no Canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil**. 2002. 170f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2002.
- MACHADO, G. DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SISTEMA LAGOA MIRIM – SÃO GONÇALO – RIO GRANDE DO SUL. **Revista Discente Expressões Geográficas**, n. 03, p. 61-82, 2007.
- MARTINS, D. P.; STEVAUX, J. C. Características Hidráulicas e Morfológicas do Rio Paraná na seção Porto Seção José – PR. In: Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 1., 2004. **Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Santa Maria: UFSM, 2004. v. 4.

MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A. Transporte de Sedimentos em Suspensão em 3 Postos Sedimentométricos da Bacia do Rio Itajaí-Açú. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 8., 2008, Goiânia. **Anais do VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. Campo Grande: EECA/UFG, 2008.

MEGIATO, Érica Insaurriaga. **Análise da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS**. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

MEGIATO, E. I.; MOURA, N. S. V. Mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 28, n. 1, p. 151–163, 2019.

MEYER-PETER, E.; MULLER, R. **Formulas for Bed-Load Transport**. 1948. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:4fda9b61-be28-4703-ab06-43cdc2a21bd7/datastream/OBJ/download>>. Acesso em: 03 Jan. 2023.

MÖLLER JR., O. O.; CASTAING, P.; SALOMON, J. C.; LAZURE, P. The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. **Estuarie Research Federation**, v. 24, n. 2, p. 297-311, 2001.

MONTEIRO, I. O.; PEARSON, M. L.; JUNIOR, O. O. M.; FERNANDES, E. H. L. Hidrodinâmica do Saco da Mangueira: mecanismos que controlam as trocas com o estuário da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, Rio Grande, v. 27, n. 2, p. 87-101, 2005.

MOSLEY, M. P. Na Experimental Study of Channel Confluences. **The Journal Of Geology**, v. 84, n. 5, p. 535-562, 1976.

MOURA, D.M.B. de; DE OLIVEIRA, I.J.; NASCIMENTO, D.T.F. MONITORAMENTO DA VAZÃO DE RIBEIRÃO SANTO ANTÔNIO NO MUNICÍPIO DE IPORÁ (GO) PELO MÉTODO DO VERTEDOR RETANGULAR. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**, Iporá, v. 9, n. 3, p. 218-232, 2020.

MUELLER, D. S.; WAGNER, C. R.; REHMEL, M. S.; OBERG, K. A.; RAINVILLE, F.; Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat. U.S. **Geological Survey Techniques and Methods**, 2 ed., p. 95, 2013.

MUELLER, D. S. **QRev – Software for Computation and Quality Assurance of Acoustic Doppler Current Profiler Moving-Boat Streamflow Measurements – User’s Manual for Version 2.8**. Virginia: U.S. Geological Survey, 50p., 2016.

NEVES, Eliete Henrique das. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas-RS, através do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC)**. 2012. 150f. Dissertação (Dissertação em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, A. M.; CONTI, J. B.; LEAL, R. S.; ARAGÃO, L. N. Processamento Digital de Imagens para Mapeamento do Coeficiente de Manning em Ambiente Semiárido. **International Journal of Development Research** [online], v. 11, 1 ed., p. 43921-43928, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37118/ijdr.20915.01.2021>. Acesso em: 09 dez. 2021.

OLIVEIRA, H.; FERNANDES, E.; MÖLLER, O. O.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Relationships between wind effect, hydrodynamics and water level in the world's largest coastal lagoonal system. **Water (Switzerland)**, v 11, n. 11, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11112209>.

OLIVEIRA, J. D. de; DE SOUZA, C. A.; GALBIATI, C.; DE SOUZA, J.B. Componentes ambientais e hidrodinâmica na bacia hidrográfica do Rio Branco, contribuinte do Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.01, p. 465-486, 2022.

PARSONS, D.R.; JACKSON, P.R.; CZUBA, J.A.; ENGEL, F.L.; RHOADS, B.L. OBERG, K.A.; BEST, J.L.; MUELLER, D.S.; JOHNSON, K.K.; RILEY, J.D. Velocity Mapping Toolbox (VMT): a processing and visualization 116rans for moving-vessel ADCP measurements. **Earth Surface Processes and Landforms**, 11 ed., v. 38, p. 1244-1260, 2012.

PATRÍCIO, A.R.; VILAS BOAS, R. M. R. P.; GALDINO, M. T. Gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos da produção de produtos de laticínios de qualidade superior com dimensionamento de uma estação de tratamento de efluentes a ser implantada em uma indústria localizada em Uberaba-MG, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 37278-37292, 2021.

PELOTAS TURISMO. **Patrimônios de Pelotas: Arroio Pelotas – Águas doces**. Disponível em: <http://www.pelotasturismo.com.br/historias/237#:~:text=Considerado%20patrim%C3%B4nio%20cultural%20do%20Estado,marcava%20os%20limites%20do%20rinc%C3%A3o>. Acesso: 8 mar. 2022.

PENSO-CAMPOS, J. M.; SILVEIRA, E. F. da; PÉRICO, E. ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA SUSTENTABILIDADE NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. **Revista Brasileira De Gestão E Desenvolvimento Regional**, v 18, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v18i1.5477>. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/5477>. Acesso em: jan. 2023.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC-USP, 4 ed., 540p., 2006.

POSSA, Thais Magalhães. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo com influência do vento**. 2019. 123f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2020.

POSSA, T. M.; COLLARES, G.L.; BOEIRA, L. dos S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; TERRA, V. S. S. Fully coupled hydrological–hydrodynamic modeling of a basin–river–lake transboundary system in Southern South America. **Journal of Hydroinformatics**, v. 24, n. 1, p. 93-112, 2022.

POWEL, D. M. Flow resistance in gravel bed rivers: progress in research. **Earth-Science Reviews**, v. 136, p. 301-338, 2014.

PURIFICAÇÃO, M. M.; MARCHI, M. I.; AMADO, N. M. P. (Org.). Ciências Exatas e da Terra: Exploração e Qualificação de Diferentes Tecnologias. In: SOUZA, A. L. de; SARMENTO, A. P.; SANTOS, M. R. de C. Capítulo 3: CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTO DO RIBEIRÃO SAMAMBAIA EM CATALÃO (GO). 1ed. Ponta Grossa: **Atena**, v. 1, p. 22-29, 2020.

RABIU, A.; MAIGARI, A.S.; ADEGBIE, A.T.; IMHANSOELEVAM, T.M. Measuring Flow Velocity with Acoustic Doppler Current Profiler in the Commodore Channel Lagos, Nigeria: *Implication for Understanding Channel Dynamics*. **Journal of Mining and Geology**, v.57, 2 ed., p. 323-329, 2021.

RAMÓN, C.L., HOYER, A.B., ARMENGOL, J., DOLZ, J., RUEDA, F.J. Mixing and circulation at the confluence of two rivers entering a meandering reservoir. **Water Resources Research**, v.49, p. 1429–1445, 2013.

RAMÓN, C.L., ARMENGOL, J., DOLZ, J., PRATS, J., RUEDA, F.J. Mixing dynamics at the confluence of two large rivers undergoing weak density variations. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v.119, p. 2386–2402, 2014.

RAMÓN, C.L., PRATS, J., RUEDA, F.J. The influence of flow inertia, buoyancy, wind, and flow unsteadiness on mixing at the asymmetrical confluence of two large rivers. **Journal of Hydrology**, v.539, p. 11–26, 2016.

RAMOS, P. X.; SCHINDFESSEL, L.; PÊGO, J. P.; DE MULDER, T. Influence of bed elevation discordance on flow patterns and head losses in an open-channel confluence. **Water Science and Engineering**, v. 12, n. 13, p. 235-243, 2019.

RAMSER, C.E. **Flow of water in drainage channels**. Technical Bulletin 129. Washington: U.S. Department of Agriculture, 101 p., 1929.

RD INSTRUMENTS. **Acoustic Doppler Current Profiler**: Principals of operation A practical primer. San Diego: RD Instruments, 1989. 36p.

REHBEIN, M. O.; SILVA, A. R. E. da; DUTRA, D. da S. CARTOGRAFIA MORFOLÓGICA DO RELEVO DO MUNICÍPIO DE PELOTAS (RS). **Revista Geografar**, v. 16, n. 2, p. 531-554, 2021.

RHOADS, B. L. **River Dynamics: Geomorphology to Support Management**. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 526 p., 2020.

RHOADS, B. L. Changes in stream channel characteristics at tributary junctions. **Physical Geography**, v. 8, p. 346-361, 1987.

RHOADS, B.L.; JOHNSON, K.K. Three-dimensional flow structure, morphodynamics, suspended sediment, and thermal mixing at an asymmetrical river confluence of a straight tributary and curving main channel. **Geomorphology**, v. 323, p. 51-69, 2018.

RHOADS, B.L.; KENWORTHY, S.T. Flow structure at an asymmetrical stream confluence. **Geomorphology**, v.11, p. 273-293, 1995.

RHOADS, B.L.; KENWORTHY, S.T. Time-averaged flow structure in the central region of a stream confluence. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 23, p. 171–191, 1998.

RHOADS, B. L.; SUKHODOLOV, A. N. Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 1. Thermal mixing and time-averaged velocities. **Water Resources Research**, v. 37, n. 9, p. 2393-2410, 2001.

RHOADS, B.L.; RILEY, J.D.; MAYER, D.R. Response of bed morphology and bed material texture to hydrological conditions at an asymmetrical stream confluence. **Geomorphology**, v. 109, n. 3-4, p. 161–173, 2009.

RICHARDS, K. S. A note in changes in channel geometry at tributary junctions. **Water Resources Research**, v. 16, n. 2, p. 41-244, 1980.

RILEY, J.D.; RHOADS, B.L. Flow structure and channel morphology at a natural confluent meander bend. **Geomorphology**, v. 163, p. 84–98, 2012.

RILEY, J.D.; RHOADS, B.L.; PARSONS, D.R.; JOHNSON, K.K. Influence of junction angle on three-dimensional flow structure and bed morphology at confluent meander bends during different hydrological conditions. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, 2 ed., p. 252-271, 2015.

ROY, A.G.; SERRES, B. de. Morphologie du lit et dynamique des confluent de cours d'eau. **Bulletin de la Société géographique de liège**, v. 25, p. 113-127, 1989.

ROY, A. G.; ROY, R. R. Changes in channel size at river confluence with coarse bed material. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 13, p. 77-84, 1988.

ROY, A. G.; WOLDENBERG, M. J. A model for changes in channel form at a river confluence. **Journal of Geology**, v. 94, p. 401-411, 1986.

SANCHES FILHO, P. J.; M. BOHM, E. M.; BOHM, G. M. B.; MONTENEGRO, G. O.; SILVEIRA, L.A.; BETEMPS, G. R. Determination of hydrocarbons transported by urban runoff in sediments of São Gonçalo channel (Pelotas – RS, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 1088-1095, 2017.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, 372p., 2001.

SANTOS, L. C.; BARTELS, G. K.; BOEIRA, L. dos S.; BONCZYNSKI, R. G.; GONÇALVES, G. M. S.; COLLARES, G. L. A HIDRODINÂMICA DAS CONFLUÊNCIAS FLUVIAIS: EMBASAMENTO PARA ESTUDOS NA CONFLUÊNCIA DO CANAL SÃO GONÇALO E ARROIO PELOTAS. In: Semana Integrada de Inovação, Ensino, Pesquisa e Extensão, 8. (SIIPE)., 2022, Pelotas. **Anais do XXIV Encontro de Pós-Graduação**. Pelotas: UFPEL, 2022a.

SANTOS, L. C.; LIMA, M. T. V.; NUNES, A. B. Estudo climatológico de anomalia de precipitação de janeiro de 2021 em Pelotas – RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 827-840, 2022b.

SANTOS, V. dos; STEVAUX, J. C.; SZUPIANY, R.N. Confluence analysis at basin scale in a tropical bedrock river – The Ivaí River, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 116, p. 103877, 2022c.

SERRES, B. de; ROY, A.G.; BIRON, P.M.; BEST, J.L. Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. **Geomorphology**, n. 26, p. 313-335, 1999.

SHEPPARD, J. R. **Investigation of Meyer-Peter, Muller bedload formulas**. Sedimentation Section, Hydrology Branch, Division of Project Investigations: United States Department of Interior, 22p., 1960.

SILVA, F. M. de C.; APOLINARIO, M. da F.; SIQUEIRA, A. C. de O. Experimento didático de Reynolds e conceitos básicos em mecânica dos fluidos. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, n. 3, v. 3, p. 346–357, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl3iss3pp346-357>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2246>. Acesso em: 17 dez. 2022.

SILVEIRA, Caroline Perez Lacerda da. **Caracterização de solos e sedimentos em depósitos e fontes em potencial na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas**. 2015. 127f. Dissertação (Dissertação em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

SIMPSON, M.R. **Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler**. Sacramento: United States Geological Survey, 123p., 2001.

SONTEK – Sontek, a Division of YSI Inc. **RiverSurveyor S5/M9 System Manual Firmware Version 2.00**. San Diego: Summers Ridge Road, 156p., 2011.
SONTEK. **RiverSurveyor® S5/M9 Discharge, Bathymetry and Current Profiling**. San Diego, EUA. 2015.

SOUZA, Mariana Farias de. **Qualidade da Água do Canal São Gonçalo – RS/Brasil – Uma Avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

SOUZA, V. M. de; PAIVA, L. E. D. de. Determinação do fator de atrito da equação de Darcy-weisbach a partir de dados medidos em rios. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3. (SRH-PS)., 2018. **Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Juiz de Fora: UFJF, 2018. v. 1, p. 509-518.

STEINMETZ, Alice Alonzo. **Estimativa de cheias aplicando a técnica de hidrograma unitário com diferentes abordagens de discretização espacial em uma sub-bacia do arroio pelotas**. 2017. 109f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2017.

STEVENS JÚNIOR, H.H.; YANG, C.T. SUMMARY AND USE OF SELECTED FLUVIAL SEDIMENT-DISCHARGE FORMULAS. Denver: **U. S. Geological Survey**, 1989.

STREETER, V. L. Mecânica dos fluidos. São Paulo: **MCGraw Hill do Brasil**, 1978.

SUN, Y.; LI, J.; CAO, Z.; BORTHWICK, A. G. L. Vertically layered flow structure at confluence of a reservoir and tributary carrying high sediment loads. **Frontiers in Earth Science**, 2022.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALMEIDA; W. R. da S.; AMARAL, R. L. do; RAMOS, M. F.; REHBEIN, M. O.; KUNDE, R. J. Capacidade de uso e aptidão agrícola das terras de propriedades rurais localizadas na bacia hidrográfica do Arroio Pelotas. **ForScience**, v. 9, n. 1, e00873, 2021.

SZYMANSKI; F. D.; KOBIYAMA, M.; GIEHL, M. R.; CORSEUIL, C. W. Avaliação de velocidade de rios em bacias montanhosas, região sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15; n. 3; p. 1434-1446, 2022.

TANG, H.; ZHANG, H.; YUAN, S. Hydrodynamics and contaminant transport on a degraded bed at a 90-degree channel confluence. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 18, n. 2, p. 443– 463, 2018.

TAYLOR, E. H. Flow characteristics at open channel junctions. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v. 109, n. 223, p. 893-912, 1944.

TREGASKIS, C.; JOHNSON, C.G.; CUI, X.; GRAY, J.M.N.T. Subcritical and supercritical granular flow around an obstacle on a rough inclined plane. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 933, p. 25-41, 2022.

THÉ, J. L.; THÉ, C. L.; JOHNSON, M. A. WRPLOT View User Guide: Wind and Rain Rose Plots for Meteorological Data. Waterloo: **Lakes Environmental**, 2016.

TOMAS, G.; HOPKER, R.; FRIGO, A.L.; BLENINGER, T. Velocity Mapping Toolbox for Sontek M9 ADCP Data. River Flow: **The International Conference On Fluvial Hydraulics**, 2016.

TOMAZELLI, L. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 20, n. 1, p. 18-26, 1993.

TONG, X.; LIU, X.; YANG, T.; MOHAPATRA, S.; HUA, Z.; ZHANG, Y.; CHU, k.; XUE, H. An experimental study of the hydrodynamics and contaminant transport in a Y-shaped confluence with flexible submerged vegetation. **Hydrological Processes**, v. 36, n. 8, 2022.

VAZ, Ana Luísa Souza. **O efeito da vegetação na resistência ao escoamento em canais naturais**. 2013. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade do Porto, Porto, 2012.

VESTANA, L. R.; KOMINECKI, A. Hidrogeomorfologia em confluência fluvial obtusa, Guarapuava, Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, p. 2131-2148, 2021.

VITORINO, Camila Farias. **RESISTÊNCIA AO FLUXO DEVIDO A VEGETAÇÃO NUM TRECHO DO RIO PITIMBU, NATAL-RN**. 2017. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017

YUAN, S.; TANG, H.; LI, K.; XU, L.; XIAO, Y.; GUALTIERI, C.; RENNIE, C.; MELVILLE, B. *et al.* Hydrodynamics, sediment transport and morphological features at the confluence between the Yangtze River and the Poyang Lake. **Water Resources Research**, v. 57, p. 24, 2021.

YUAN, S.; ZHU, Y.; TANG, H.; XU, L.; LI, K.; XIAO, Y.; GUALTIERI, C. Platform evolution and hydrodynamics near the multi-channel confluence between the Yarlung Zangbo River and the delta of the Niyang River. **Geomorphology**, v. 402, p. 108157, 2022.

WU, C.; NITTROUER, J. Impacts of backwater hydrodynamics on fluvial–deltaic stratigraphy. **Basin Research**, v. 32, 2019.

Anexos

Anexo A – Densidade da água de acordo com a temperatura

$t/^\circ\text{C}$	$\rho/\text{g cm}^{-3}$								
0.1	0.9998495	4.1	0.9999748	8.1	0.9998452	12.1	0.9994890	16.1	0.9989296
0.2	0.9998560	4.2	0.9999746	8.2	0.9998389	12.2	0.9994774	16.2	0.9989132
0.3	0.9998624	4.3	0.9999742	8.3	0.9998325	12.3	0.9994657	16.3	0.9988967
0.4	0.9998685	4.4	0.9999736	8.4	0.9998260	12.4	0.9994539	16.4	0.9988800
0.5	0.9998745	4.5	0.9999728	8.5	0.9998193	12.5	0.9994419	16.5	0.9988633
0.6	0.9998803	4.6	0.9999719	8.6	0.9998125	12.6	0.9994298	16.6	0.9988464
0.7	0.9998859	4.7	0.9999709	8.7	0.9998056	12.7	0.9994176	16.7	0.9988294
0.8	0.9998913	4.8	0.9999697	8.8	0.9997985	12.8	0.9994052	16.8	0.9988123
0.9	0.9998966	4.9	0.9999683	8.9	0.9997912	12.9	0.9993927	16.9	0.9987951
1.0	0.9999017	5.0	0.9999668	9.0	0.9997839	13.0	0.9993801	17.0	0.9987778
1.1	0.9999066	5.1	0.9999651	9.1	0.9997764	13.1	0.9993674	17.1	0.9987603
1.2	0.9999113	5.2	0.9999633	9.2	0.9997687	13.2	0.9993546	17.2	0.9987428
1.3	0.9999158	5.3	0.9999613	9.3	0.9997610	13.3	0.9993416	17.3	0.9987251
1.4	0.9999202	5.4	0.9999592	9.4	0.9997530	13.4	0.9993285	17.4	0.9987073
1.5	0.9999244	5.5	0.9999569	9.5	0.9997450	13.5	0.9993153	17.5	0.9986895
1.6	0.9999285	5.6	0.9999544	9.6	0.9997368	13.6	0.9993020	17.6	0.9986715
1.7	0.9999323	5.7	0.9999518	9.7	0.9997285	13.7	0.9986534	17.7	0.9986534
1.8	0.9999360	5.8	0.9999491	9.8	0.9997200	13.8	0.9992749	17.8	0.9986351
1.9	0.9999396	5.9	0.9999462	9.9	0.9997114	13.9	0.9992612	17.9	0.9986168
2.0	0.9999429	6.0	0.9999431	10.0	0.9997027	14.0	0.9992474	18.0	0.9985984
2.1	0.9999461	6.1	0.9999400	10.1	0.9996938	14.1	0.9992335	18.1	0.9985798
2.2	0.9999491	6.2	0.9999366	10.2	0.9996848	14.2	0.9992194	18.2	0.9985611
2.3	0.9999519	6.3	0.9999331	10.3	0.9996757	14.3	0.9992052	18.3	0.9985424
2.4	0.9999546	6.4	0.9999295	10.4	0.9996665	14.4	0.9991909	18.4	0.9985235
2.5	0.9999571	6.5	0.9999257	10.5	0.9996571	14.5	0.9991765	18.5	0.9985045
2.6	0.9999595	6.6	0.9999217	10.6	0.9996475	14.6	0.9991619	18.6	0.9984854
2.7	0.9999616	6.7	0.9999176	10.7	0.9996379	14.7	0.9991473	18.7	0.9984662
2.8	0.9999636	6.8	0.9999134	10.8	0.9996281	14.8	0.9991325	18.8	0.9984469
2.9	0.9999655	6.9	0.9999090	10.9	0.9996182	14.9	0.9991176	18.9	0.9984275
3.0	0.9999672	7.0	0.9999045	11.0	0.9996081	15.0	0.9991026	19.0	0.9984079
3.1	0.9999687	7.1	0.9998998	11.1	0.9995979	15.1	0.9990874	19.1	0.9983883
3.2	0.9999700	7.2	0.9998950	11.2	0.9995876	15.2	0.9990722	19.2	0.9983686
3.3	0.9999712	7.3	0.9998900	11.3	0.9995772	15.3	0.9990568	19.3	0.9983487
3.4	0.9999722	7.4	0.9998849	11.4	0.9995666	15.4	0.9990413	19.4	0.9983287
3.5	0.9999731	7.5	0.9998797	11.5	0.9995559	15.5	0.9990257	19.5	0.9983087
3.6	0.9999738	7.6	0.9998743	11.6	0.9995451	15.6	0.9990100	19.6	0.9982885
3.7	0.9999743	7.7	0.9998687	11.7	0.9995341	15.7	0.9989942	19.7	0.9982682
3.8	0.9999747	7.8	0.9998631	11.8	0.9995230	15.8	0.9989782	19.8	0.9982478
3.9	0.9999749	7.9	0.9998572	11.9	0.9995118	15.9	0.9989621	19.9	0.9982273
4.0	0.9999749	8.0	0.9998513	12.0	0.9995005	16.0	0.9989459	20.0	0.9982067

Fonte: Adaptado de HAYNES *et al.*, 2014.

Anexo A – Densidade da água de acordo com a

(conclusão)

$t/^\circ\text{C}$	$\rho/\text{g cm}^{-3}$								
20.1	0.9981860	25.3	0.9969696	30.5	0.9954967	35.7	0.9937899	49.0	0.98848
20.2	0.9981652	25.4	0.9969436	30.6	0.9954660	35.8	0.9937549	50.0	0.98804
20.3	0.9981443	25.5	0.9969176	30.7	0.9954352	35.9	0.9937199	51.0	0.98758
20.4	0.9981233	25.6	0.9968914	30.8	0.9954044	36.0	0.9936847	52.0	0.98712
20.5	0.9981022	25.7	0.9968651	30.9	0.9953734	36.1	0.9936495	53.0	0.98665
20.6	0.9980810	25.8	0.9968387	31.0	0.9953424	36.2	0.9936142	54.0	0.98617
20.7	0.9980596	25.9	0.9968123	31.1	0.9953113	36.3	0.9935788	55.0	0.98569
20.8	0.9980382	26.0	0.9967857	31.2	0.9952801	36.4	0.9935434	56.0	0.98521
20.9	0.9980167	26.1	0.9967591	31.3	0.9952488	36.5	0.9935078	57.0	0.98471
21.0	0.9979950	26.2	0.9967324	31.4	0.9952175	36.6	0.9934722	58.0	0.98421
21.1	0.9979733	26.3	0.9967055	31.5	0.9951860	36.7	0.9934365	59.0	0.98371
21.2	0.9979514	26.4	0.9966786	31.6	0.9951545	36.8	0.9934007	60.0	0.98320
21.3	0.9979295	26.5	0.9966516	31.7	0.9951228	36.9	0.9933649	61.0	0.98268
21.4	0.9979074	26.6	0.9966245	31.8	0.9950911	37.0	0.9933290	62.0	0.98216
21.5	0.9978853	26.7	0.9965973	31.9	0.9950593	37.1	0.9932929	63.0	0.98163
21.6	0.9978630	26.8	0.9965700	32.0	0.9950275	37.2	0.9932569	64.0	0.98109
21.7	0.9978407	26.9	0.9965426	32.1	0.9949955	37.3	0.9932207	65.0	0.98055
21.8	0.9978182	27.0	0.9965151	32.2	0.9949635	37.4	0.9931844	66.0	0.98000
21.9	0.9977956	27.1	0.9964875	32.3	0.9949313	37.5	0.9931481	67.0	0.97945
22.0	0.9977730	27.2	0.9964599	32.4	0.9948991	37.6	0.9931117	68.0	0.97890
22.1	0.9977502	27.3	0.9964321	32.5	0.9948668	37.7	0.9930753	69.0	0.97833
22.2	0.9977273	27.4	0.9964043	32.6	0.9948344	37.8	0.9930387	70.0	0.97776
22.3	0.9977044	27.5	0.9963763	32.7	0.9948020	37.9	0.9930021	71.0	0.97719
22.4	0.9976813	27.6	0.9963483	32.8	0.9947694	38.0	0.9929654	72.0	0.97661
22.5	0.9976582	27.7	0.9963202	32.9	0.9947368	38.1	0.9929286	73.0	0.97603
22.6	0.9976349	27.8	0.9962920	33.0	0.9947041	38.2	0.9928917	74.0	0.97544
22.7	0.9976115	27.9	0.9962637	33.1	0.9946713	38.3	0.9928548	75.0	0.97484
22.8	0.9975881	28.0	0.9962353	33.2	0.9946384	38.4	0.9928178	76.0	0.97424
22.9	0.9975645	28.1	0.9962068	33.3	0.9946055	38.5	0.9927807	77.0	0.97364
23.0	0.9975408	28.2	0.9961783	33.4	0.9945724	38.6	0.9927435	78.0	0.97303
23.1	0.9975171	28.3	0.9961496	33.5	0.9945393	38.7	0.9927063	79.0	0.97241
23.2	0.9974932	28.4	0.9961208	33.6	0.9945061	38.8	0.9926689	80.0	0.97179
23.3	0.9974692	28.5	0.9960920	33.7	0.9944728	38.9	0.9926316	81.0	0.97116
23.4	0.9974452	28.6	0.9960631	33.8	0.9944394	39.0	0.9925941	82.0	0.97053
23.5	0.9974210	28.7	0.9960341	33.9	0.9944060	39.1	0.9925565	83.0	0.96990
23.6	0.9973968	28.8	0.9960050	34.0	0.9943724	39.2	0.9925189	84.0	0.96926
23.7	0.9973724	28.9	0.9959758	34.1	0.9943388	39.3	0.9924812	85.0	0.96861
23.8	0.9973480	29.0	0.9959465	34.2	0.9943051	39.4	0.9924434	86.0	0.96796
23.9	0.9973234	29.1	0.9959171	34.3	0.9942713	39.5	0.9924056	87.0	0.96731
24.0	0.9972988	29.2	0.9958876	34.4	0.9942375	39.6	0.9923677	88.0	0.96664
24.1	0.9972740	29.3	0.9958581	34.5	0.9942035	39.7	0.9923297	89.0	0.96598
24.2	0.9972492	29.4	0.9958285	34.6	0.9941695	39.8	0.9922916	90.0	0.96531
24.3	0.9972243	29.5	0.9957987	34.7	0.9941354	39.9	0.9922534	91.0	0.96463
24.4	0.9971992	29.6	0.9957689	34.8	0.9941012	40.0	0.9922152	92.0	0.96396
24.5	0.9971741	29.7	0.9957390	34.9	0.9940669	41.0	0.99183	93.0	0.96327
24.6	0.9971489	29.8	0.9957090	35.0	0.9940326	42.0	0.99144	94.0	0.96258
24.7	0.9971236	29.9	0.9956790	35.1	0.9939982	43.0	0.99104	95.0	0.96189
24.8	0.9970981	30.0	0.9956488	35.2	0.9939637	44.0	0.99063	96.0	0.96119
24.9	0.9970726	30.1	0.9956185	35.3	0.9939291	45.0	0.99021	97.0	0.96049
25.0	0.9970470	30.2	0.9955882	35.4	0.9938944	46.0	0.98979	98.0	0.95978
25.1	0.9970213	30.3	0.9955578	35.5	0.9938597	47.0	0.98936	99.0	0.95907
25.2	0.9969955	30.4	0.9955273	35.6	0.9938248	48.0	0.98893	99.974	0.95837

Apêndices

Apêndice A – Tempos de queda obtidos a partir da Lei de Stokes para pipetagem de sedimentos finos.

Temperatura (°C)	Viscosidade da água (g/cm/s)	Altura de queda (cm)	Densidade do líquido (g/cm ³)	Diâmetro da partícula (cm)	Tempo de pipetagem
24	0,00908	10	0,99732	0,0062	00:00:26
		10		0,0031	00:01:45
		10		0,0016	00:06:34
		10		0,0008	00:26:16
		5		0,0004	00:52:33
		5		0,0002	03:30:14
26	0,00867	10	0,99681	0,0062	00:00:25
		10		0,0031	00:01:40
		10		0,0016	00:06:16
		10		0,0008	00:25:05
		5		0,0004	00:50:10
		5		0,0002	03:20:40
27	0,00847	10	0,99652	0,0062	00:00:24
		10		0,0031	00:01:37
		10		0,0016	00:06:07
		10		0,0008	00:24:30
		5		0,0004	00:49:00
		5		0,0002	03:16:00
28	0,00828	10	0,99622	0,0062	00:00:23
		10		0,0031	00:01:35
		10		0,0016	00:05:59
		10		0,0008	00:23:56
		5		0,0004	00:47:53

°C – grau celsius; g – gramas; cm – centímetros; s – segundos; cm³ - centímetros cúbicos.

Apêndice B – Resultados da janela de registro dos dados de entrada do Velocity Mapping Toolbox (VMT).

Saída de Campo	Seção Transversal	Esp. Mediano entre os conjuntos mapeados (m)	Desvio Padrão do esp. Entre conjuntos mapeados (m)	Esp. Entre nós de grade recomendado (m)>*	Qs após rotação (ZSD; m ³ /s)	Método de Análise	
10/01/2022	4	0,233	0,256	0,489	4,15e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	5	0,255	0,263	0,518	-1,79e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	6	0,229	0,254	0,484	1,67e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	7	0,233	0,278	0,512	-1,03e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	8	0,219	0,257	0,476	-2,314e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	9	0,108	0,238	0,346	-3,30e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	10	0,084	0,242	0,326	5,04e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	11	0,132	0,215	0,347	-5,34e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	12	0,105	0,125	0,230	-1,97e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	13	0,185	0,221	0,406	-3,75e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	21/07/2022	1	0,470	0,467	0,937	-1,18e ⁻¹⁴	Rozovskii
		2	0,489	0,403	0,892	1,14e ⁻¹⁴	Rozovskii
		3	0,451	0,398	0,848	-1,11e ⁻¹⁴	Rozovskii
4		0,502	0,411	0,914	-1,43e ⁻¹⁴	Rozovskii	
5		0,480	0,374	0,854	8,51e ⁻¹⁴	Rozovskii	
6		0,544	0,377	0,921	-3,23e ⁻¹⁴	Rozovskii	
7		0,560	0,414	0,975	-5,53e ⁻¹⁵	Rozovskii	
8		0,525	0,393	0,917	-1,18e ⁻¹⁴	Rozovskii	
9		0,350	0,369	0,718	-2,33e ⁻¹⁴	Rozovskii	
10		0,245	0,352	0,597	-2,45e ⁻¹⁵	Rozovskii	
11		0,160	0,393	0,553	-2,49e ⁻¹⁵	Rozovskii	
12		0,170	0,238	0,408	3,47e ⁻¹⁵	Rozovskii	
13		0,494	0,390	0,884	-4,84e ⁻¹⁴	Rozovskii	
04/11/2022	1	0,604	0,461	1,065	1,92e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	2	0,550	0,491	1,040	1,92e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	3	0,526	0,474	0,999	-4,17e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	4	0,523	0,425	0,948	-3,16e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	5	0,341	0,347	0,687	1,08e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	6	0,536	0,455	0,991	-8,33e ⁻¹⁵	Rozovskii	
	7	0,312	0,341	0,653	-2,01e ⁻¹⁴	Rozovskii	
	8	0,562	0,438	0,999	3,78e ⁻¹⁶	Rozovskii	
	9	0,329	0,485	0,814	-4,09e ⁻¹⁴	Rozovskii	

Apêndice B – Resultados da janela de registro dos dados de entrada do Velocity Mapping Toolbox (VMT).

(conclusão)

Saída de Campo	Seção Transversal	Esp. Mediano entre os conjuntos mapeados (m)	Desvio Padrão do esp. Entre conjuntos mapeados (m)	Esp. Entre nós de grade recomendado (m)>*	Qs após rotação (ZSD; m ³ /s)	Método de Análise
04/11/2022	10	0,345	0,423	0,768	-1,42e ⁻¹⁵	Rozovskii
	11	0,190	0,407	0,597	1,85e ⁻¹⁵	Rozovskii
	12	0,286	0,359	0,645	4,71e ⁻¹⁵	Rozovskii
	13	0,328	0,347	0,675	1,45e ⁻¹⁴	Rozovskii

Nota: as seções 1, 2 e 3 da primeira saída de campo foram desconsideradas devido à incerteza significativa dos dados obtidos pelos ADCP; *- espaçamento entre nós de grade recomendado pelo software para plotagem adequada; m – metros; eps. – espaçamento; ZSD - zero rotações líquidas de descarga secundária; m³/s - metros cúbicos por segundo.

Apêndice C – Resultados da janela de registro da plotagem da seção transversal média no Velocity Mapping Toolbox (VMT).

		Janela de Registro resultante da plotagem da seção transversal					Janela resultante após plotagem					
Saída de Campo	Seção Transversal	Direção de fluxo no sentido da corrente (XS; graus)	Direção de fluxo primário (graus)	Desvio de direção do fluxo (graus)	Razão entre a velocidade mediana secundária e a mediana da velocidade primária (zsd)	Razão entre a velocidade mediana secundária e a mediana primária (roz)	Faixa de velocidade para plotagem			Posição		
							Máx. (cm/s)	Mín. (cm/s)	Ref. (cm/s)	Dist. (m)	Prof. (m)	
10/01/2022	4	92,206	117,684	-25,478	0,801	0,263	50	-31	25	27,54	5,71	
	5	93,917	102,981	-9,064	0,753	0,305	42	-24	17	23,54	5,50	
	6	95,048	106,776	-11,728	0,737	0,266	51	-49	19	21,93	5,78	
	7	95,617	89,400	6,2171	0,620	0,227	49	-20	18	21,13	5,69	
	8	96,678	111,831	-15,152	0,714	0,248	43	-42	21	21,00	5,84	
	9	348,673	355,236	-6,562	0,410	0,223	39	-26	10	6,19	3,04	
	10	348,518	334,554	13,964	0,269	0,147	48	-12	11	5,38	3,04	
	11	345,001	327,490	17,511	0,229	0,117	46	-15	8	5,38	2,75	
	12	340,960	324,099	16,861	0,209	0,109	36	-15	9	4,93	2,93	
	13	102,283	115,941	-13,658	0,783	0,257	43	-31	20	22,08	5,69	
	21/07/2022	1	89,661	91,309	-1,649	0,108	0,095	99	3	19	18,96	6,47
		2	91,225	93,038	-1,813	0,108	0,092	95	19	18	19,55	6,63
		3	91,970	93,049	-1,079	0,099	0,084	95	0	17	19,98	6,23
4		92,018	96,548	-4,530	0,148	0,076	94	-4	17	27,90	6,77	
5		92,848	96,341	-3,493	0,118	0,079	99	-15	18	23,71	6,48	
6		94,986	96,221	-1,235	0,105	0,086	95	30	18	21,72	6,78	
7		95,069	96,110	-1,041	0,106	0,099	99	-3	20	21,54	6,60	
8		96,152	95,471	0,681	0,098	0,087	99	5	22	21,42	6,69	
9		170,201	133,661	36,539	0,265	0,157	30	-7	7	6,58	3,84	
10		170,540	138,781	31,759	0,339	0,222	31	-2	13	5,51	3,78	
11		166,239	151,951	14,287	0,399	0,257	30	-5	9	5,29	3,81	
12		160,993	157,503	3,490	0,334	0,249	28	-25	18	5,01	3,59	
13		100,521	95,084	5,436	0,093	0,080	101	8	18	22,03	6,52	
04/11/2022	1	89,170	93,647	-4,477	0,226	0,170	69	8	25	18,88	6,08	
	2	90,290	92,236	-1,947	0,194	0,148	68	7	20	19,53	6,12	
	3	91,056	92,882	-1,826	0,209	0,150	64	-1	23	20,10	5,85	
	4	91,313	93,731	-2,418	0,205	0,124	67	-18	14	27,24	6,53	

**Apêndice C – Resultados da janela de registro da plotagem da seção transversal média no Velocity Mapping Toolbox (VMT).
(conclusão)**

Janela de Registro resultante da plotagem da seção transversal						Janela resultante após plotagem					
Saída de Campo	Seção Transversal	Direção de fluxo no sentido da corrente (XS; graus)	Direção de fluxo primário (graus)	Desvio de direção do fluxo (graus)	Razão entre a velocidade mediana secundária e a mediana da velocidade primária (zsd)	Razão entre a velocidade mediana secundária e a mediana primária (roz)	Faixa de velocidade para plotagem			Posição	
							Máx. (cm/s)	Mín. (cm/s)	Ref. (cm/s)	Dist. (m)	Prof. (m)
04/11/2022	5	92,373	98,082	-5,709	0,237	0,171	71	-20	47	23,56	6,40
	6	93,661	96,553	-2,891	0,265	0,172	73	-24	17	21,66	6,23
	7	94,521	93,218	1,304	0,228	0,145	69	-3	19	21,59	6,26
	8	95,995	94,459	1,536	0,212	0,130	74	2	26	21,30	6,26
	9	344,095	332,282	11,813	0,926	0,330	42	-31	22	6,10	3,22
	10	350,158	65,137	-74,979	1,240	0,212	25	-22	7	5,62	3,17
	11	341,155	296,610	44,541	0,516	0,204	45	-26	10	5,18	3,05
	12	343,121	311,400	31,721	0,547	0,225	25	-10	9	4,96	3,11
	13	101,324	107,886	-6,562	0,286	0,219	67	-5	46	22,22	6,02

Nota: as seções 1, 2 e 3 da primeira saída de campo foram desconsideradas devido à incerteza significativa dos dados obtidos pelos ADCP; XS – posição em X; zsd - zero rotações líquidas de descarga secundária; roz – rozovskii; Máx. – velocidade máxima; Mín. – velocidade mínima; Ref. – velocidade de referência; Dist. – distância; Prof. – profundidade; cm/s – centímetros por segundo; m – metros.

Apêndice D – Resultados da janela de registro resultante da visualização do plano no Velocity Mapping Toolbox (VMT).

Janela de registro resultante da visualização do plano					Janela resultante após plotagem	
Saída de Campo	Seção Transversal	Espaçamento vetorial, na distância do solo (m)	Suavizando o tamanho da janela, na distância do solo (m)	Faixa de velocidade para plotagem		
				Máxima (cm/s)	Mínima (cm/s)	
10/01/2022	4	3,00	2,00	21,59	0,30	
	5	3,00	2,00	19,30	0,67	
	6	3,00	2,00	31,98	0,77	
	7	1,00	2,00	42,24	0,45	
	8	1,00	2,00	44,37	0,71	
	9	1,00	2,00	29,54	1,01	
	10	1,00	2,00	35,58	2,13	
	11	1,00	2,00	36,21	1,26	
	12	1,00	2,00	30,59	0,88	
	13	1,00	2,00	43,91	0,33	
	21/07/2022	1	1,00	2,00	85,56	5,16
		2	1,00	2,00	83,92	18,75
		3	1,00	2,00	83,82	4,99
4		1,00	2,00	84,75	1,49	
5		1,00	2,00	83,44	14,49	
6		1,00	2,00	82,08	33,19	
7		1,00	2,00	82,12	1,33	
8		1,00	2,00	85,88	7,94	
9		1,00	2,00	27,55	1,81	
10		1,00	2,00	22,33	4,30	
11		1,00	2,00	23,80	4,86	
12		1,00	2,00	20,64	3,17	
13		1,00	2,00	88,29	8,97	
04/11/2022	1	3,21	2,14	61,24	12,66	
	2	3,12	2,08	56,06	11,73	
	3	3,00	2,00	55,22	6,45	
	4	3,00	2,00	63,21	1,57	
	5	2,10	1,40	59,72	1,75	
	6	3,00	2,00	55,36	1,54	
	7	2,10	1,40	56,22	4,69	

**Apêndice D – Resultados da janela de registro resultante da visualização do plano no Velocity Mapping Toolbox (VMT).
(conclusão)**

Janela de registro resultante da visualização do plano				Janela resultante após plotagem	
Saída de Campo	Seção Transversal	Espaçamento vetorial, na distância do solo (m)	Suavizando o tamanho da janela, na distância do solo (m)	Faixa de velocidade para plotagem	
				Máxima (cm/s)	Mínima (cm/s)
04/11/2022	8	3,00	2,00	59,51	6,09
	9	2,70	1,80	28,66	1,21
	10	2,40	1,60	27,51	2,47
	11	1,80	1,20	34,77	0,26
	12	2,10	1,40	20,63	1,41
	13	2,10	1,40	58,59	1,66

Nota: as seções 1, 2 e 3 da primeira saída de campo foram desconsideradas devido à incerteza significativa dos dados obtidos pelos ADCP; na janela de registro também são apresentados os dados referentes a escala vetorial, espaçamento vetorial e suavização do tamanho da janela, quais são inseridos previamente a plotagem, deste modo, já estão apresentados nas tabelas 15.

Apêndice E – Direções cardeais, colaterais e subcolaterais expressas em graus.

Direção	Sigla Dir.	Intervalo	
		Inicial (°)	Final (°)
Norte	N	348,76	11,25
Norte-Nordeste	NNE	11,26	33,75
Nordeste	NE	33,76	56,25
Leste-Nordeste	ENE	56,26	78,75
Leste	E	78,26	101,25
Leste-Sudeste	ESE	101,26	123,75
Sudeste	SE	123,76	146,25
Sul-Sudeste	SSE	146,26	168,75
Sul	S	168,76	191,25
Sul-Sudoeste	SSW	191,26	213,75
Sudoeste	SW	213,76	236,25
Oeste-Sudoeste	WSW	236,26	258,75
Oeste	W	258,76	281,25
Oeste-Noroeste	WNW	281,26	303,75
Noroeste	NW	303,76	326,25
Norte-Noroeste	NNW	326,26	348,75

Dir – direção; ° - grau.

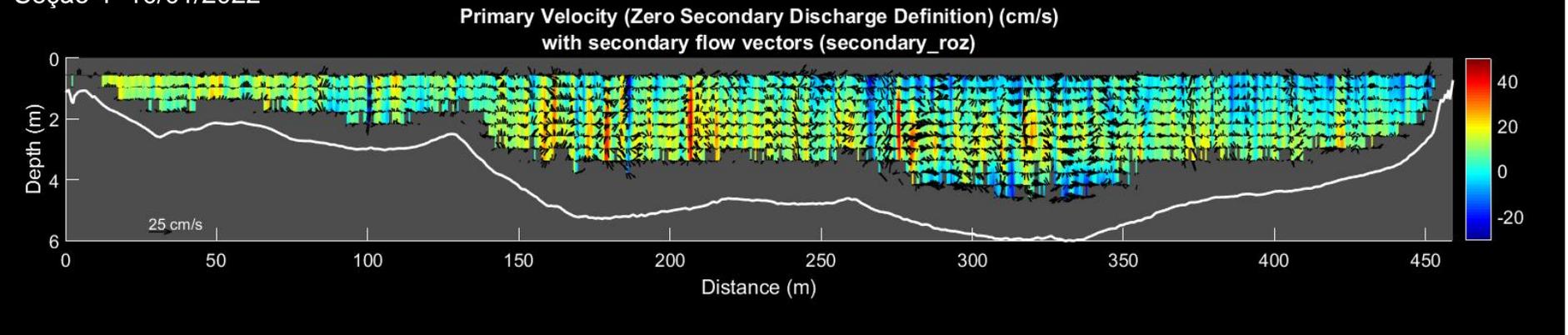
Apêndice F – Número de Froude interno, número de Froude hidráulico e fator de atrito das seções transversais.

Seções Transversais	10/01/2022					21/07/2022					04/11/2022				
	Hm (m)	Vm (m/s)	Fi	Fr	f	Hm (m)	Vm (m/s)	Fi	Fr	f	Hm (m)	Vm (m/s)	Fi	Fr	f
1 – SG	ND	ND	ND	ND	ND	5,54	0,66	14,34	0,090	0,04	5,20	0,40	6,04	0,057	0,10
2 – SG	ND	ND	ND	ND	ND	5,46	0,66	14,28	0,089	0,04	5,14	0,38	5,77	0,054	0,11
3 – SG	ND	ND	ND	ND	ND	5,13	0,66	14,92	0,094	0,04	4,92	0,39	5,96	0,056	0,10
4 – SG	4,09	0,04	0,73	0,006	9,84	4,85	0,55	12,76	0,080	0,05	4,44	0,33	5,37	0,050	0,13
5 – SG	4,26	0,05	0,97	0,008	5,67	5,01	0,63	14,25	0,089	0,04	4,56	0,37	5,97	0,056	0,10
6 – SG	4,31	0,04	0,85	0,007	7,35	5,09	0,67	15,17	0,095	0,04	4,69	0,37	5,86	0,055	0,11
7 – SG	4,38	0,11	2,10	0,016	1,21	5,03	0,68	15,50	0,097	0,03	4,73	0,35	5,48	0,051	0,12
8 – SG	4,37	0,06	1,21	0,009	3,63	4,98	0,69	15,77	0,099	0,03	4,60	0,40	6,32	0,059	0,09
9 – SG	4,14	0,04	0,76	0,006	9,11	4,84	0,70	16,27	0,102	0,03	4,42	0,40	6,52	0,061	0,09
10 – SG	2,10	0,15*	4,29	0,033	0,29	2,55	0,12	3,94	0,025	0,52	2,17	0,03*	0,64	0,006	8,87
11 – SG	2,47	0,17*	4,46	0,035	0,27	2,94	0,14	4,04	0,025	0,50	2,55	0,009	0,20	0,002	94,43
12 – SG	2,22	0,20*	5,39	0,042	0,18	2,74	0,15	4,68	0,029	0,37	2,38	0,06*	1,28	0,012	2,23
13 – SG	2,35	0,19*	5,06	0,039	0,21	2,77	0,15	4,44	0,028	0,41	2,46	0,07*	1,55	0,015	1,51
Média – SG	4,26	0,06	1,10	0,009	6,14	5,10	0,66	14,80	0,093	0,04	4,75	0,38	5,92	0,055	0,11
Desvio Padrão – SG	0,12	0,03	0,52	0,004	3,31	0,25	0,05	1,04	0,007	0,006	0,28	0,02	0,36	0,003	0,01
Média – AP	2,28	0,18	4,80	0,037	0,24	2,75	0,14	4,28	0,027	0,45	2,39	0,04	0,92	0,009	26,76
Desvio Padrão – AP	0,16	0,02	0,51	0,004	0,05	0,16	0,01	0,34	0,002	0,07	0,16	0,03	0,61	0,006	45,24

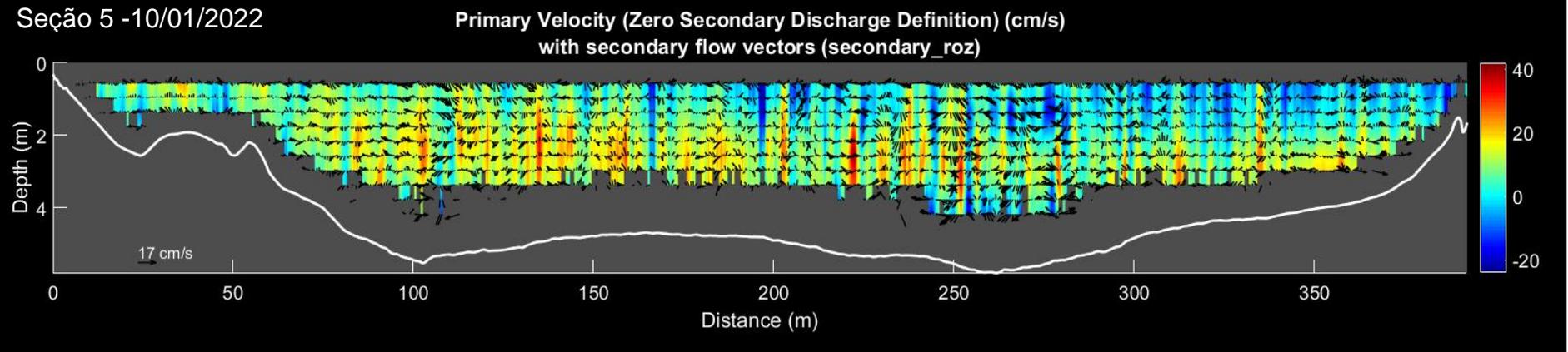
SG – Canal São Gonçalo; AP – Arroio Pelotas; ND – não deferido, devido à incerteza significativa dos dados obtidos pelos ADCP; Hm – profundidade hidráulica média; Vm – velocidade média; Fi – número de Froude interno; Fr – número de Froude; f – fator de atrito; * - valores de velocidade negativos no AP.

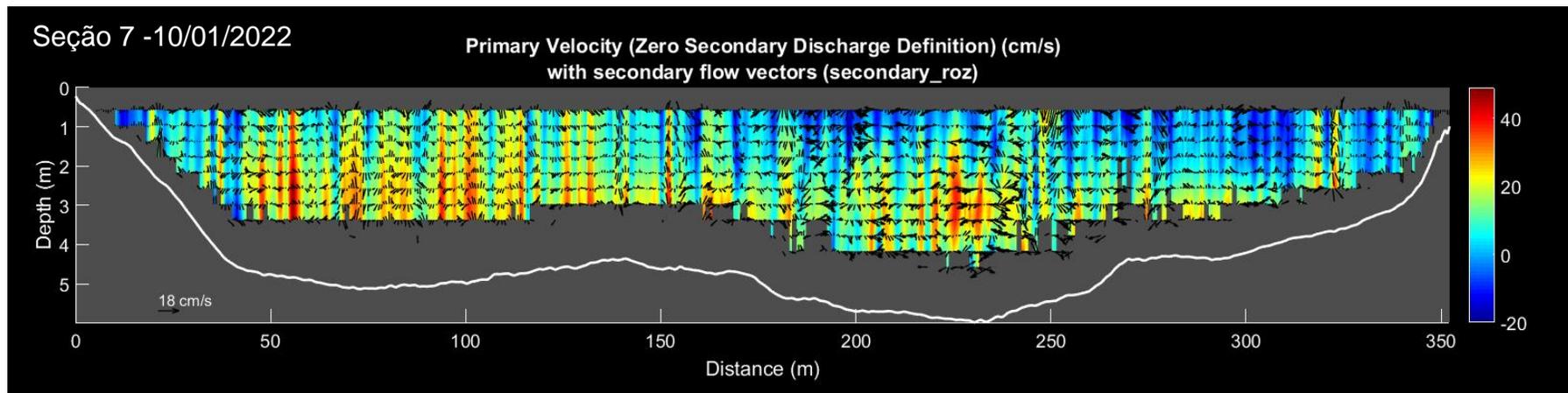
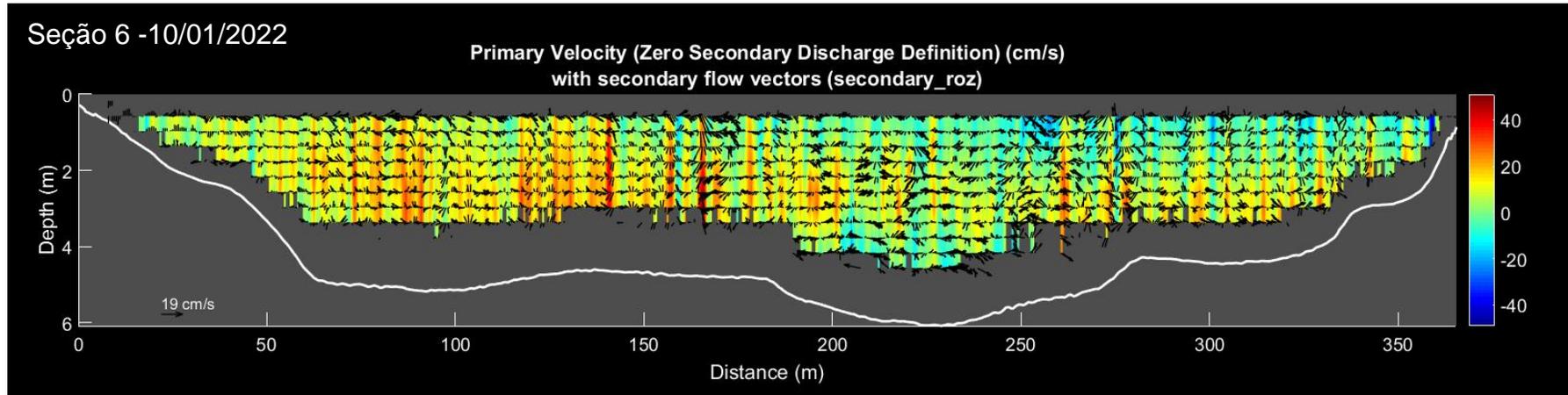
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.

Seção 4 -10/01/2022



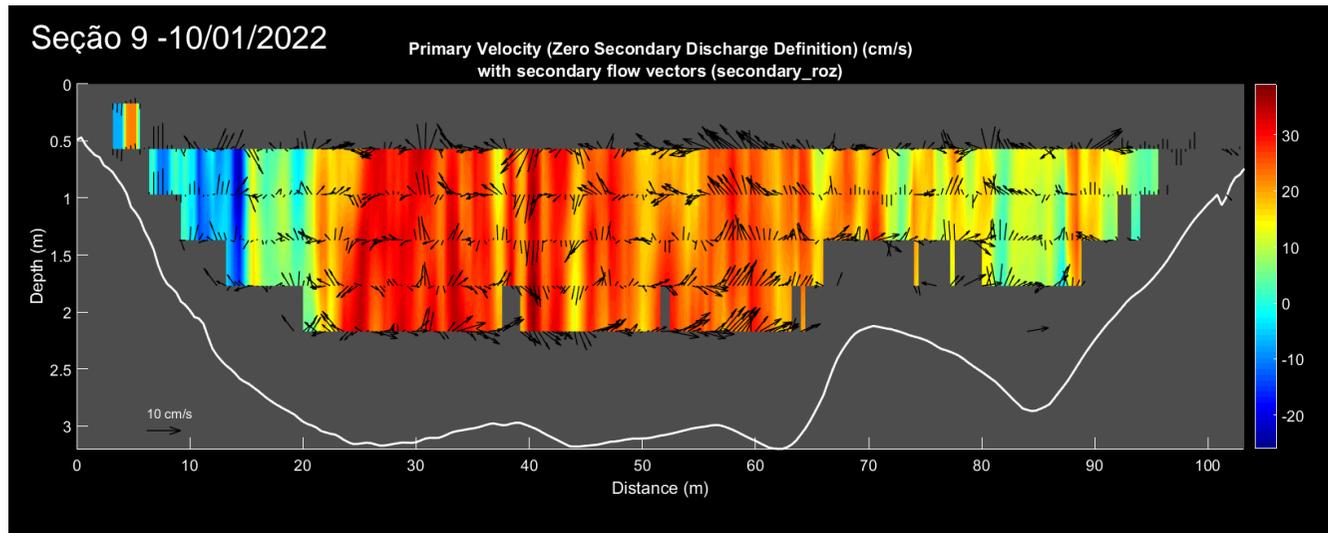
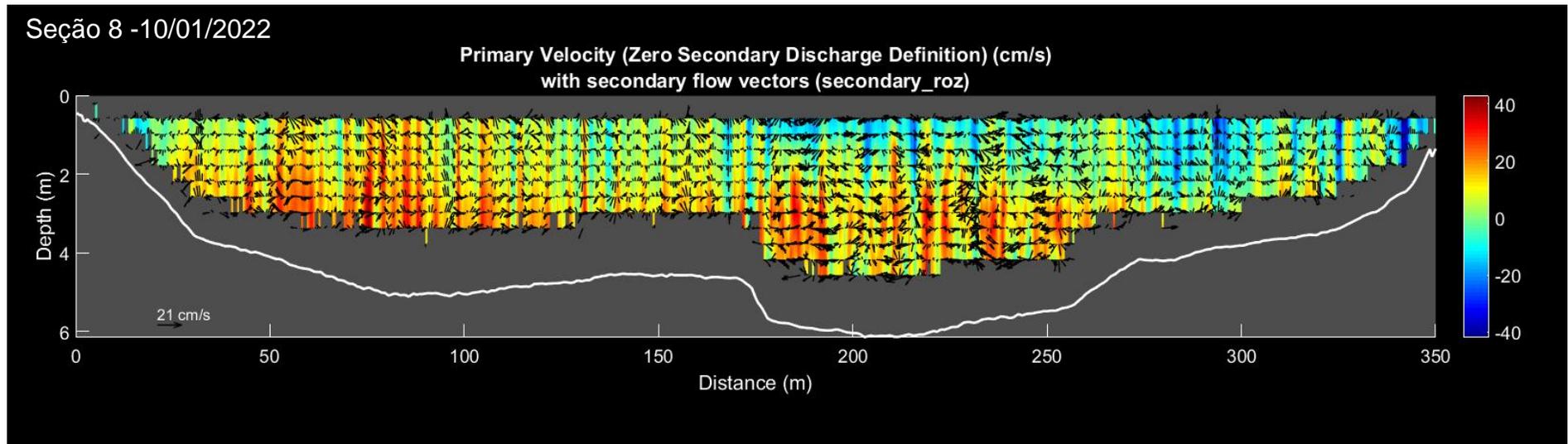
Seção 5 -10/01/2022

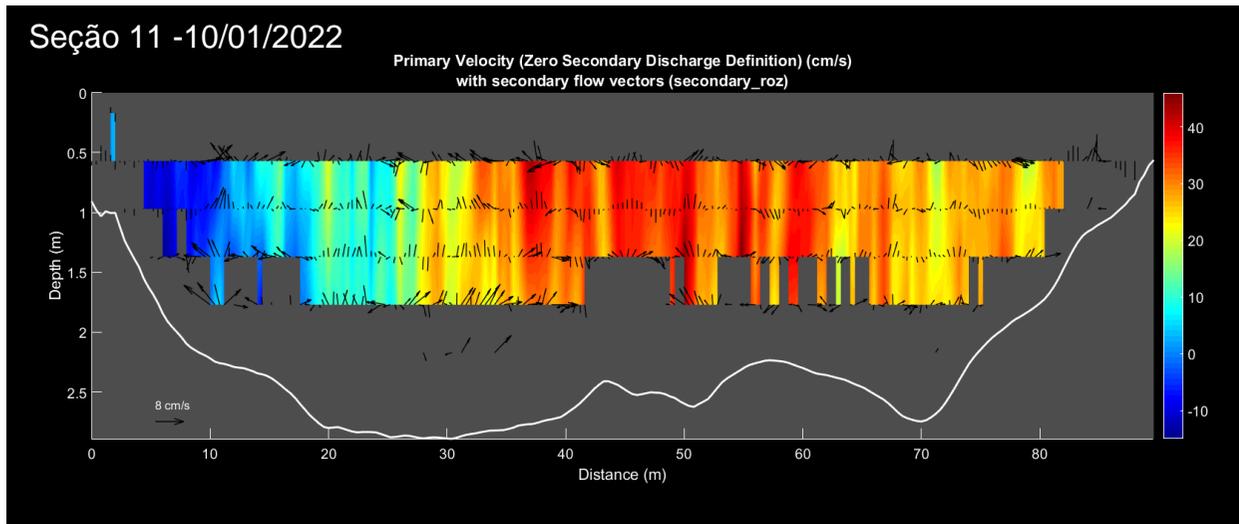
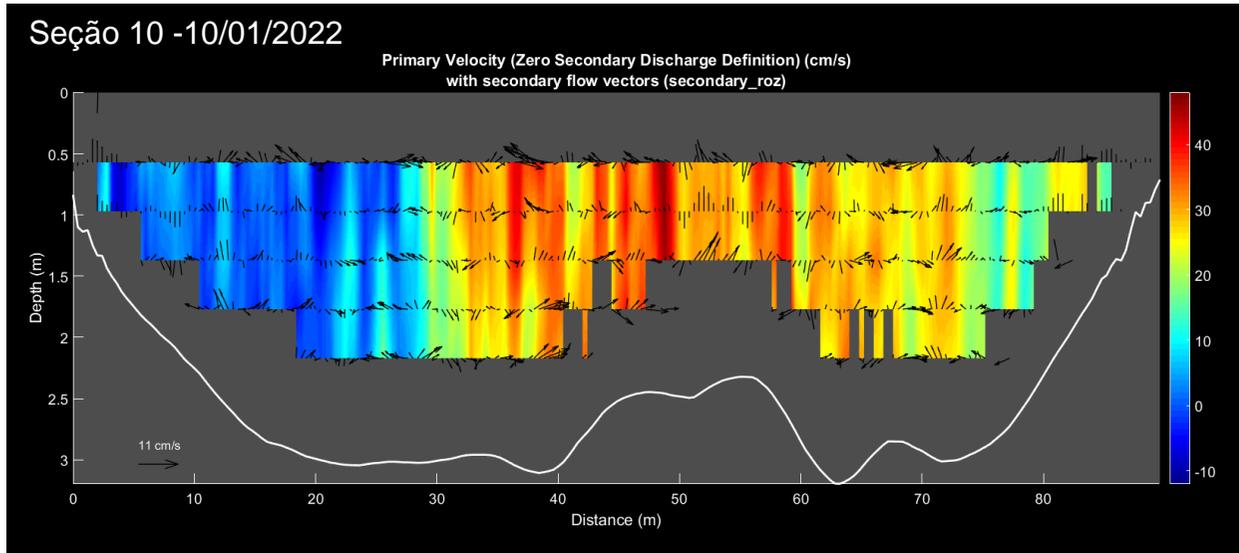


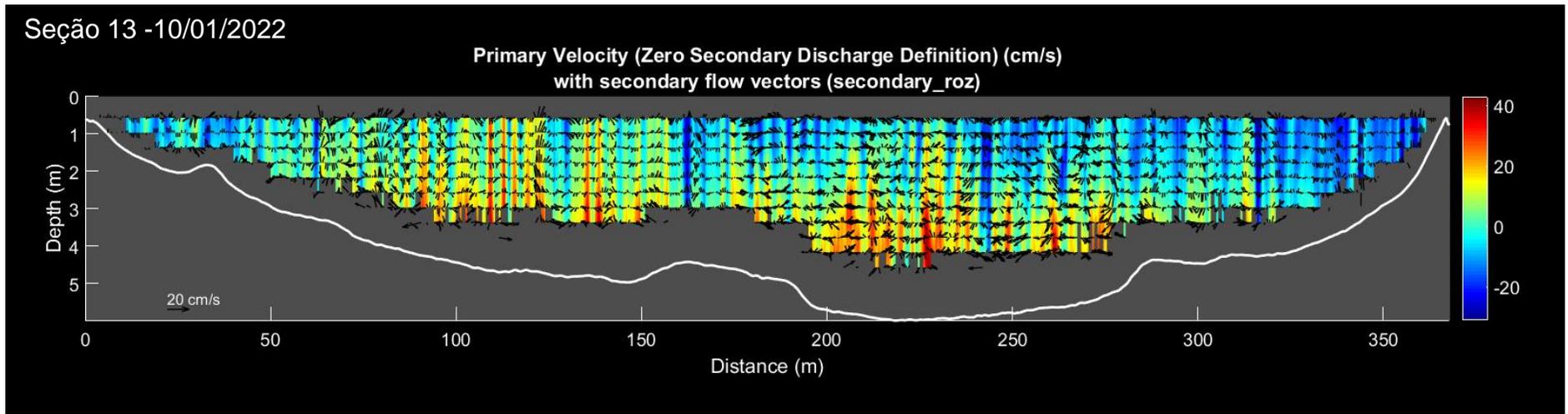
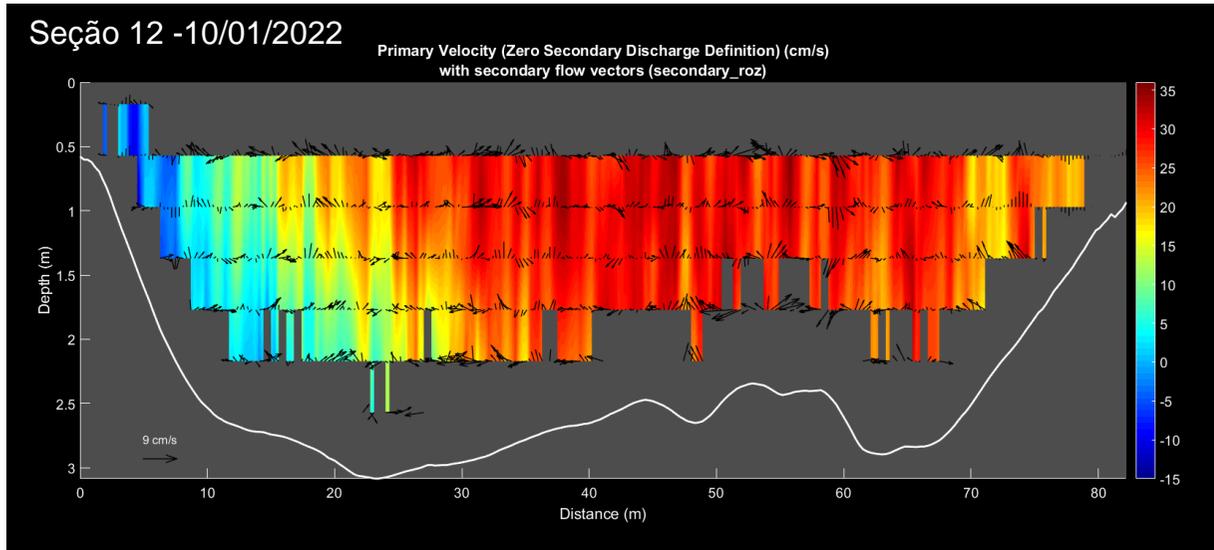
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.

(continuação)

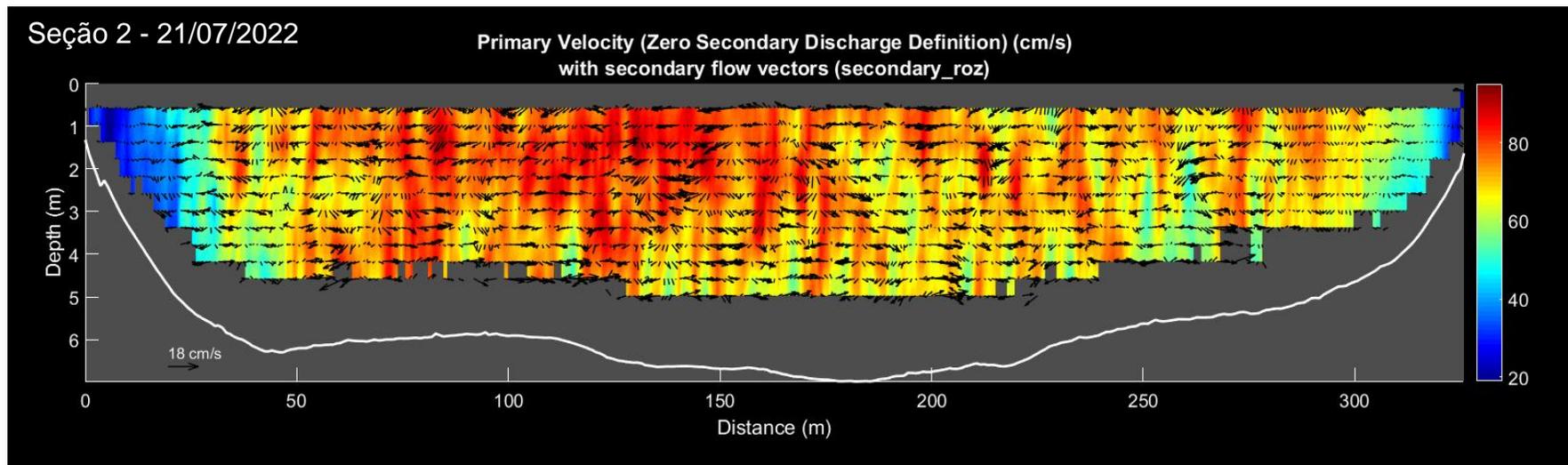
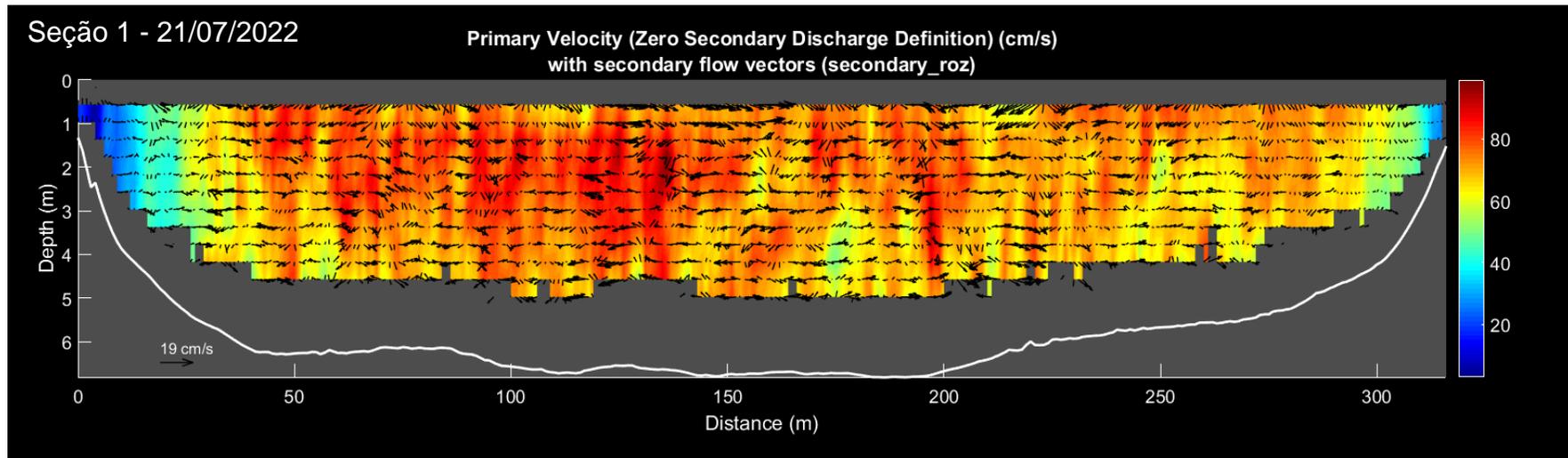


Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

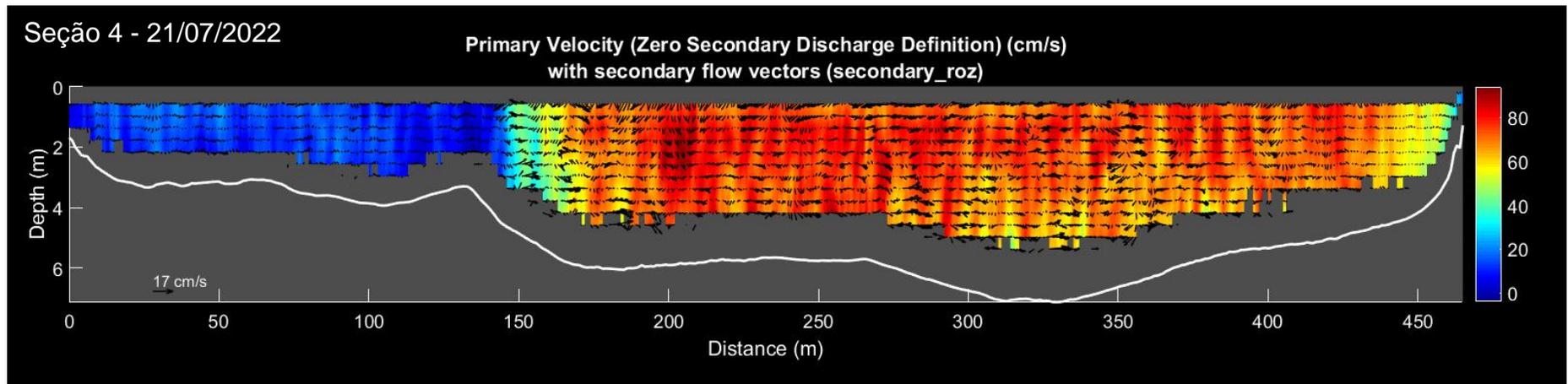
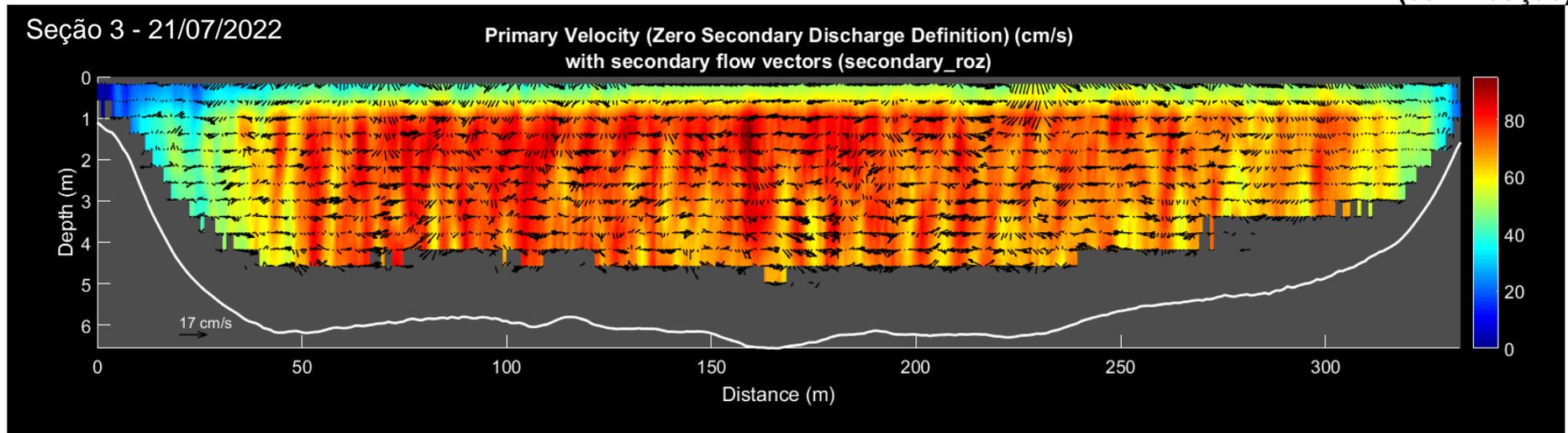
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.

(continuação)



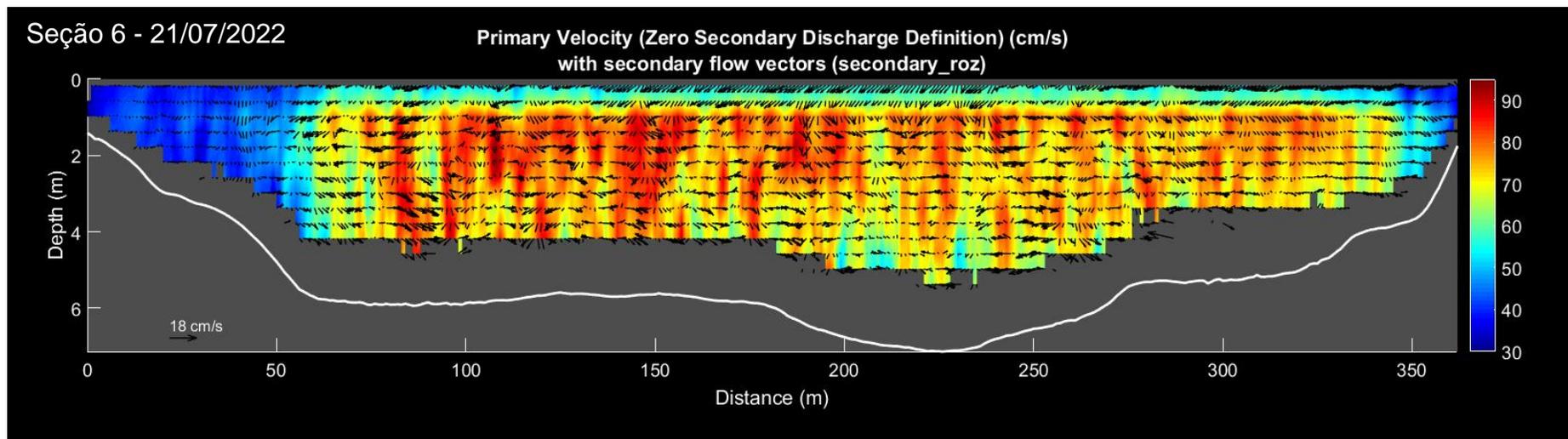
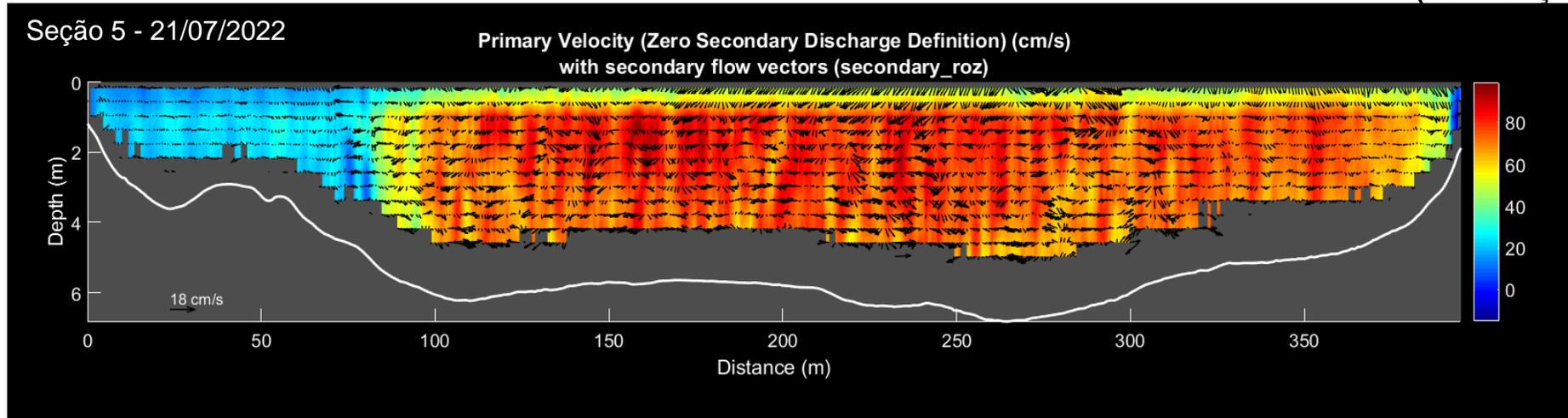
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.

(continuação)



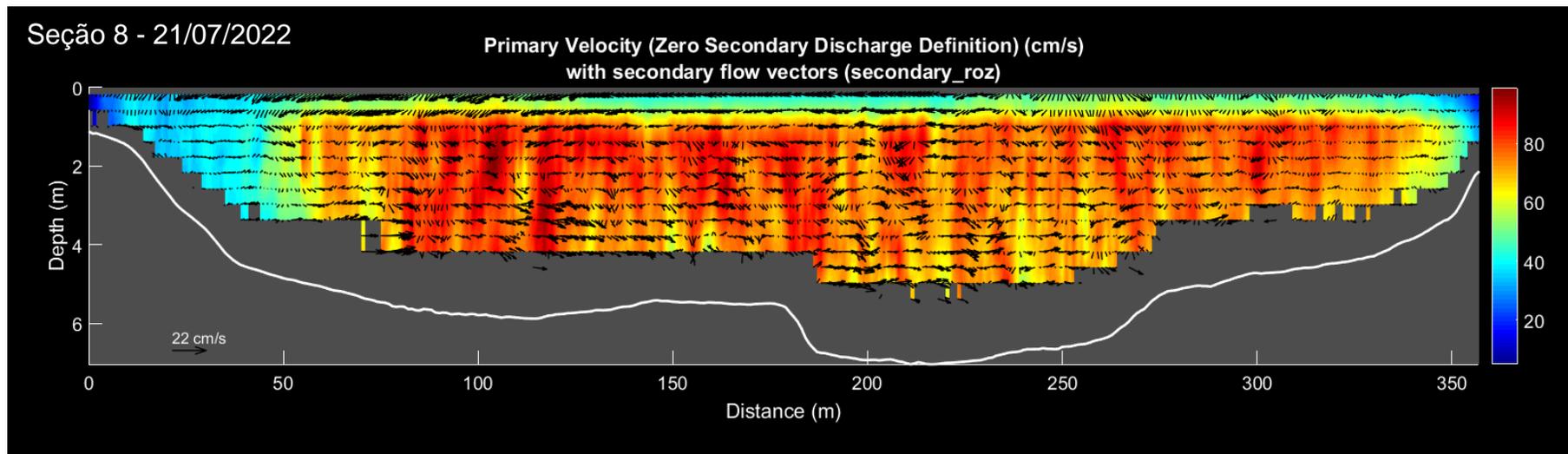
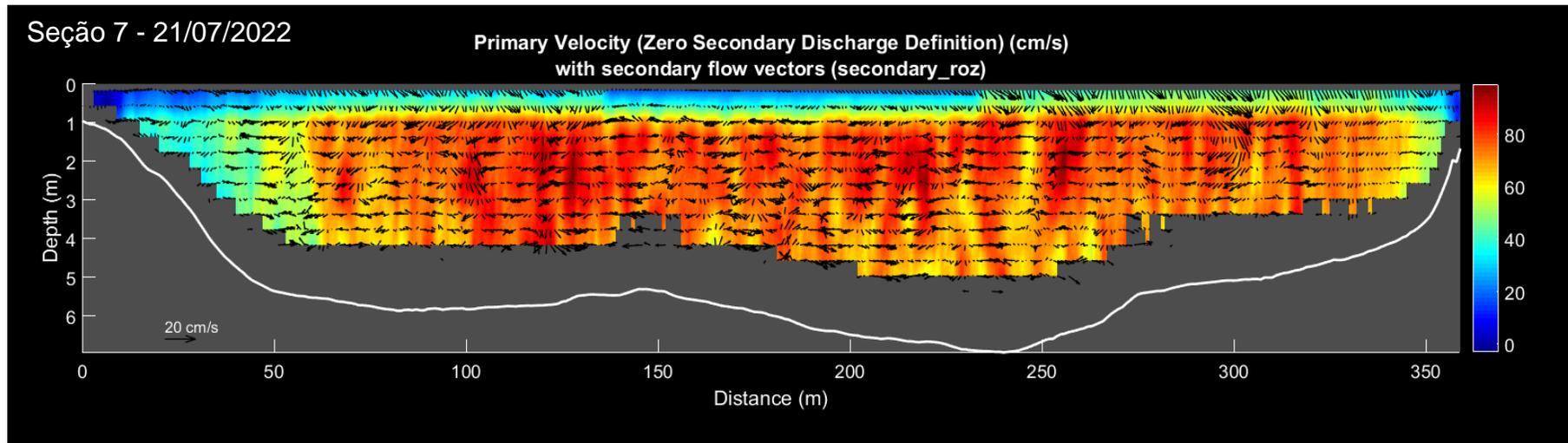
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.

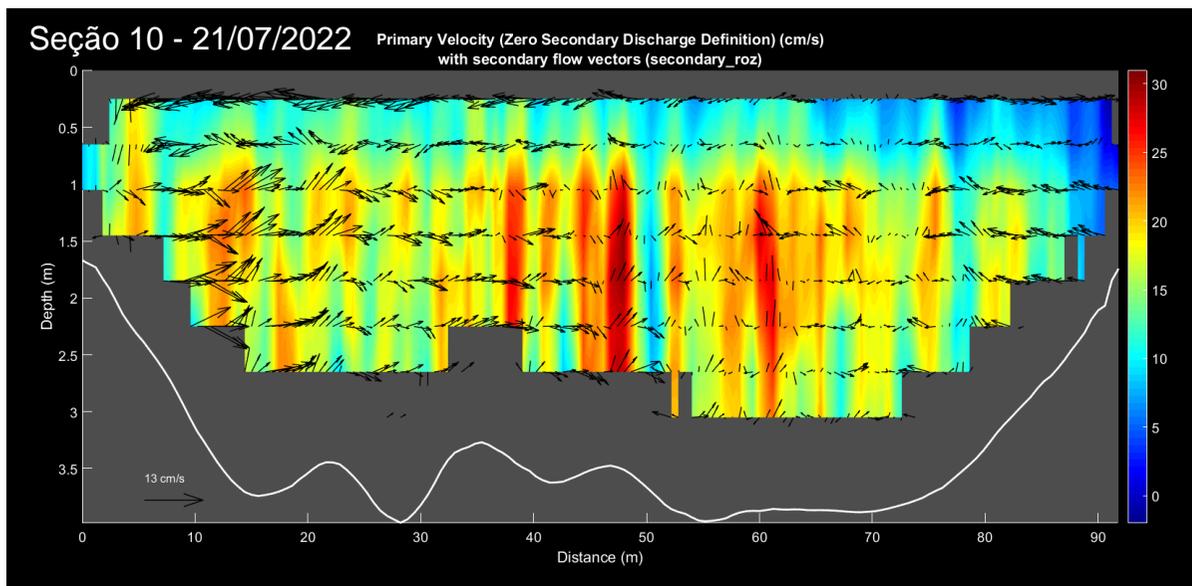
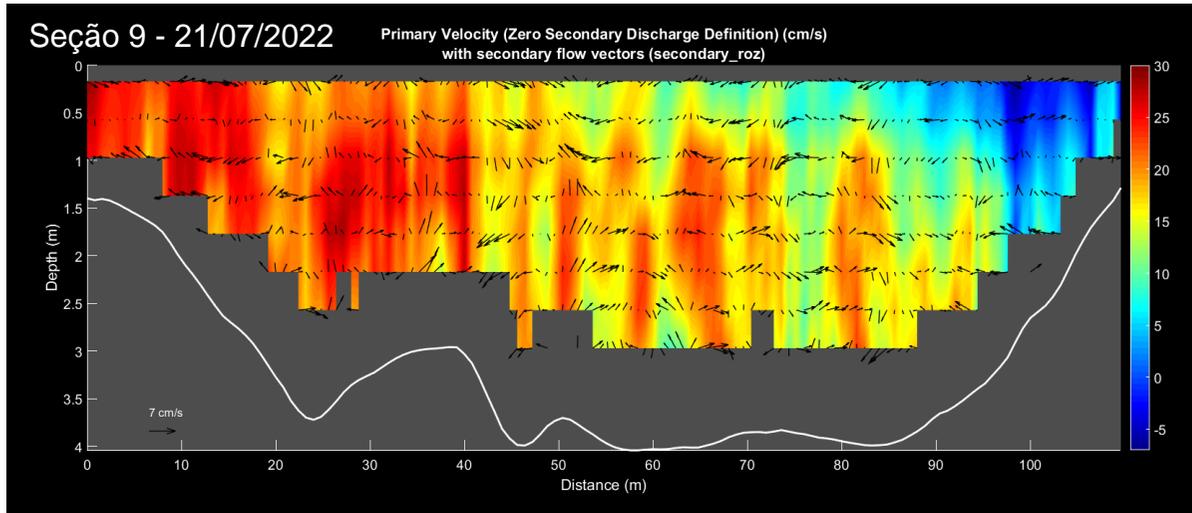
(continuação)

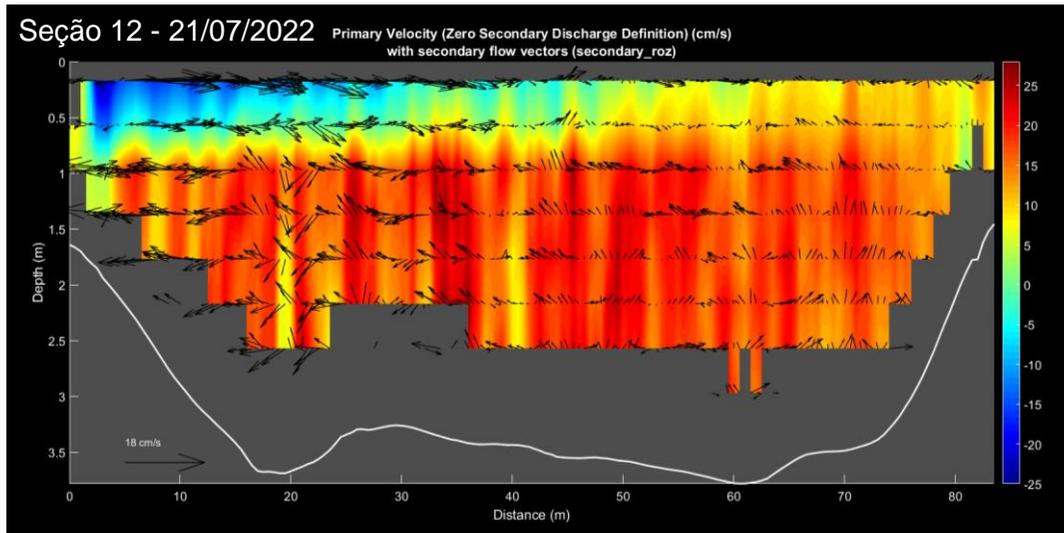
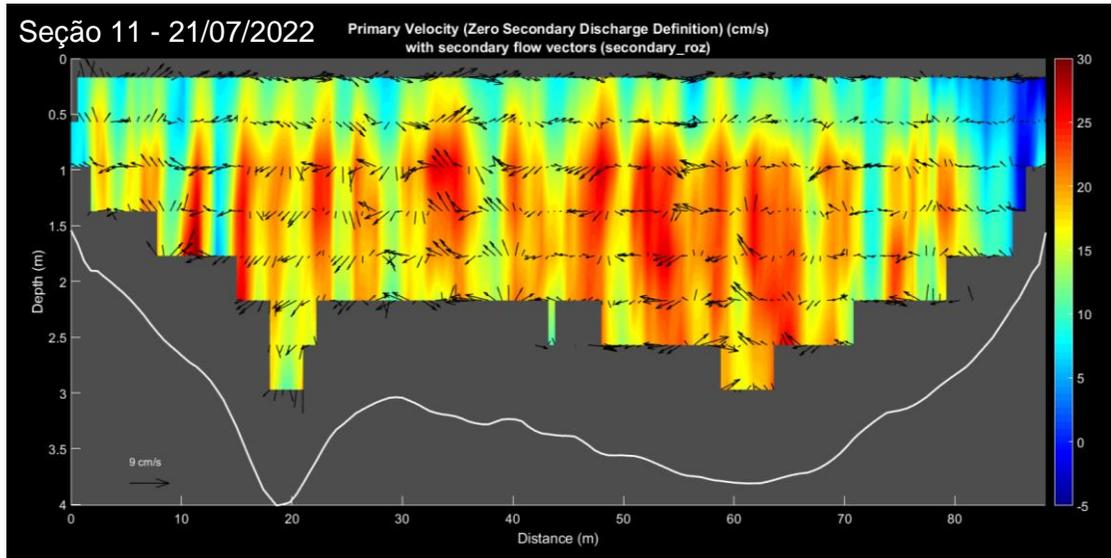


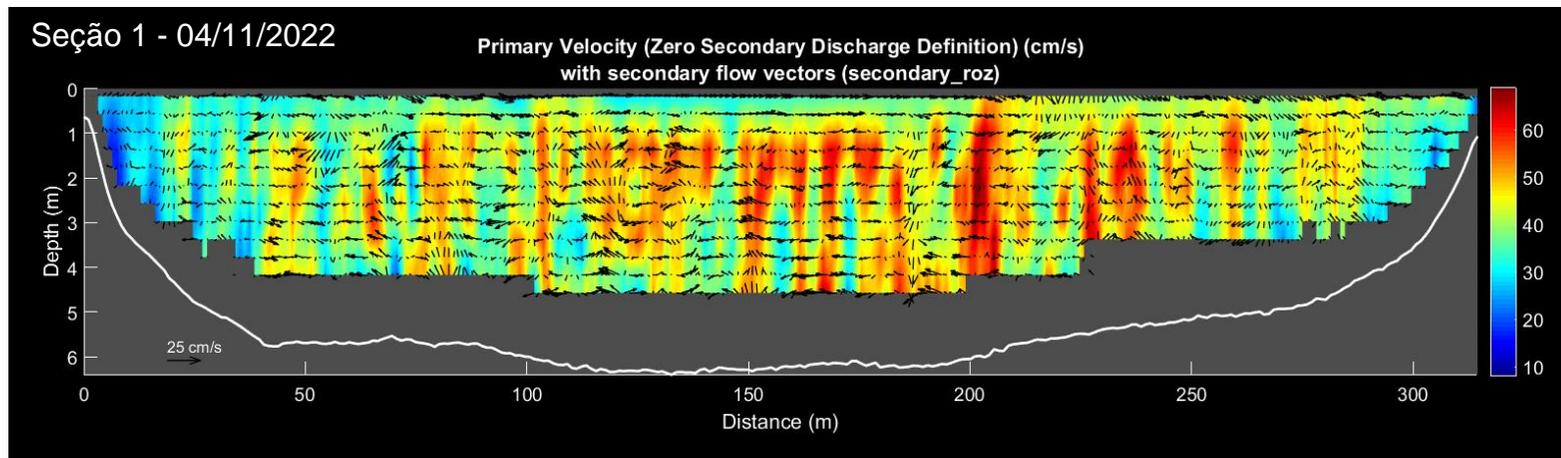
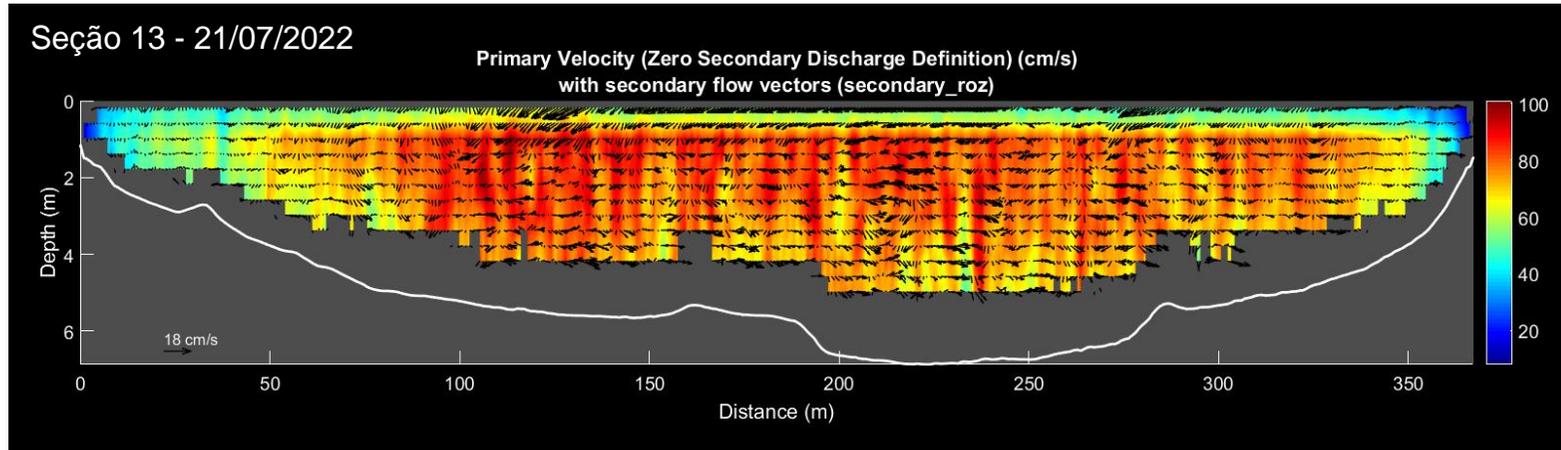
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.

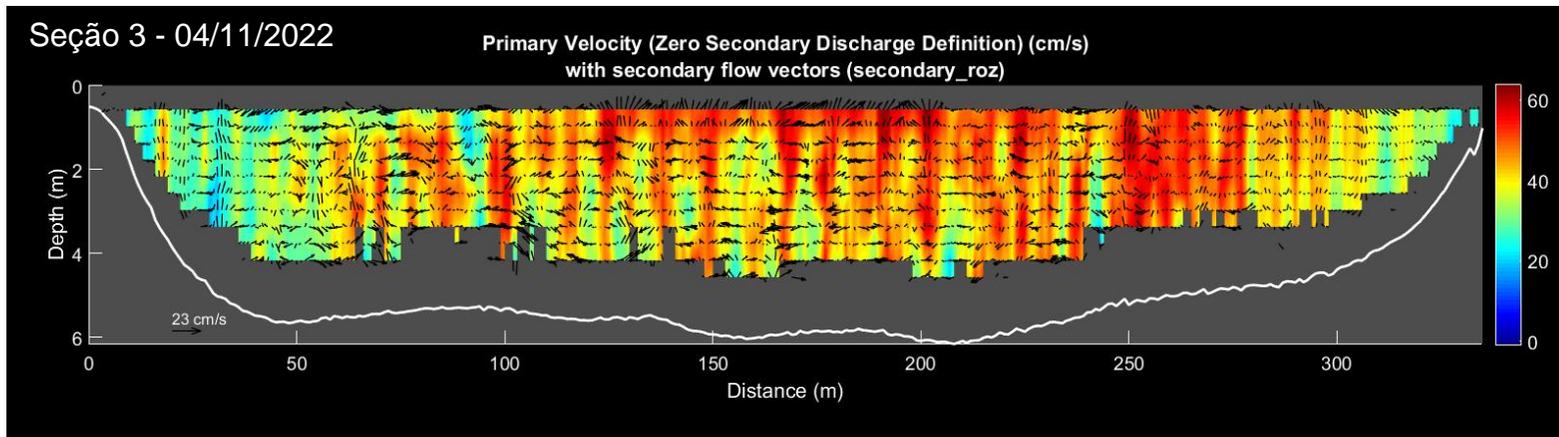
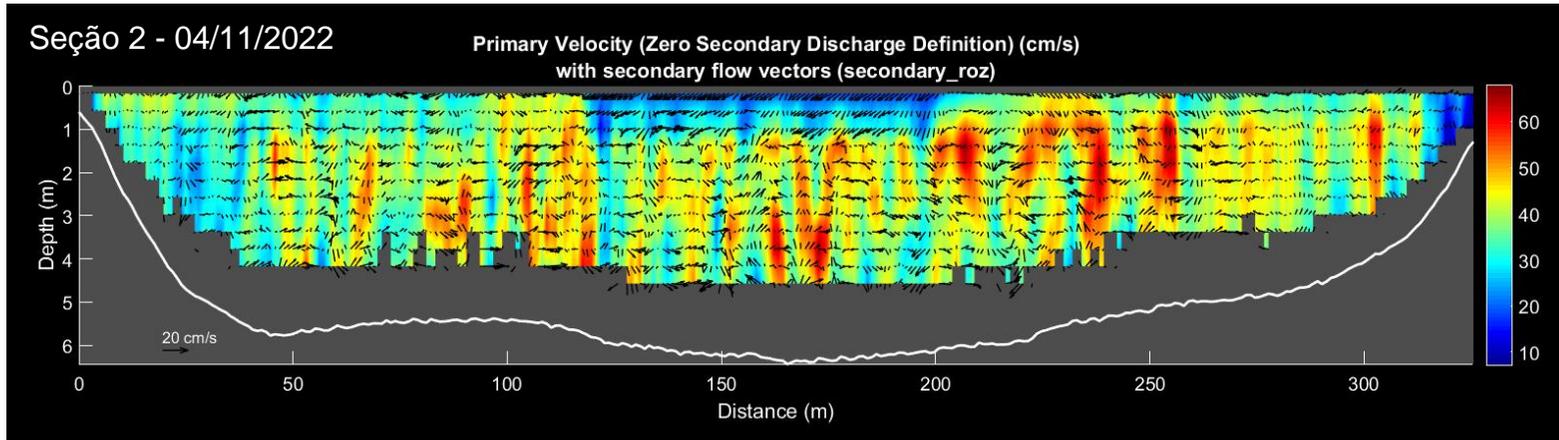
(continuação)

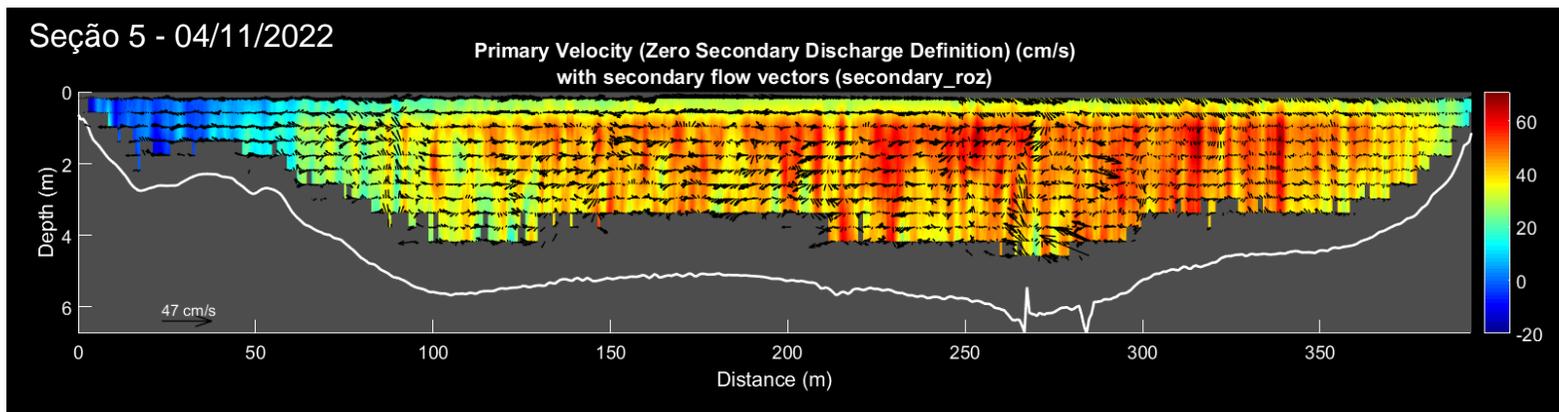
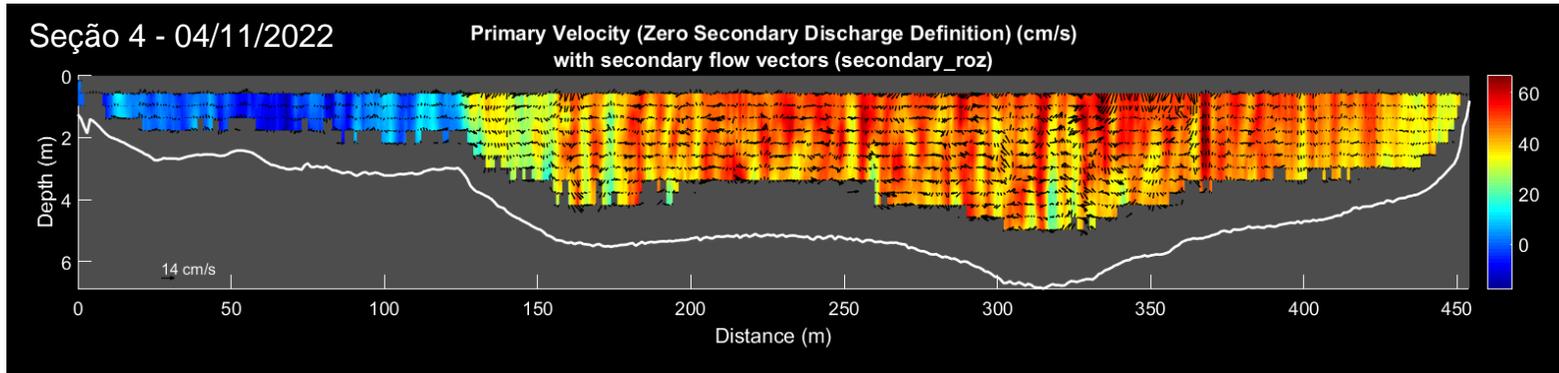


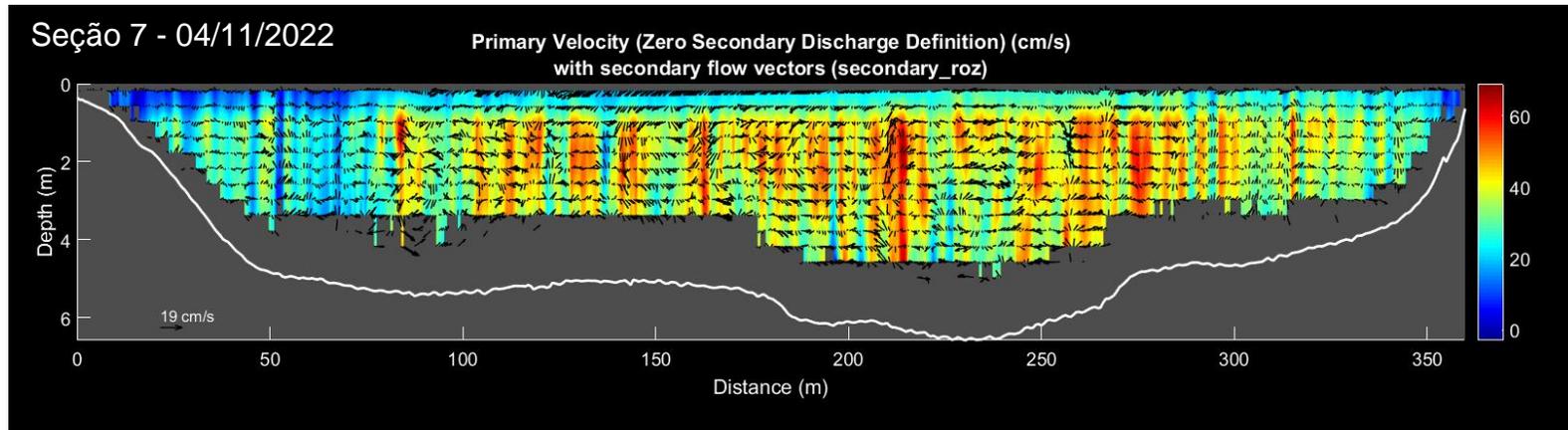
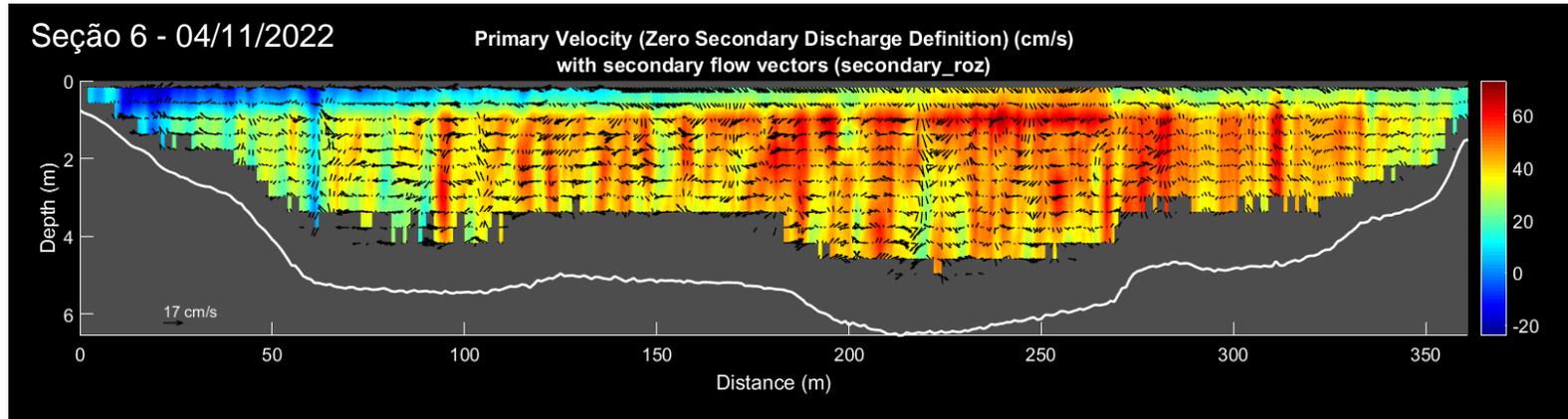
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

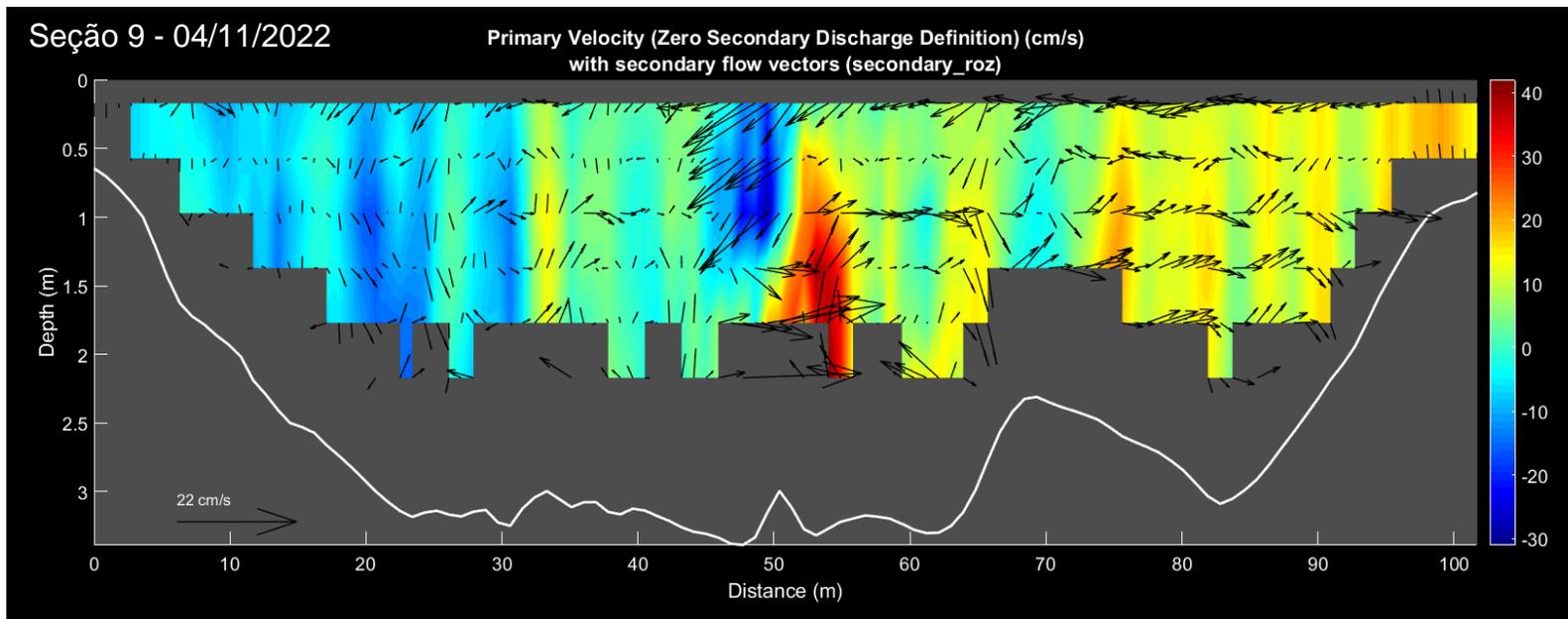
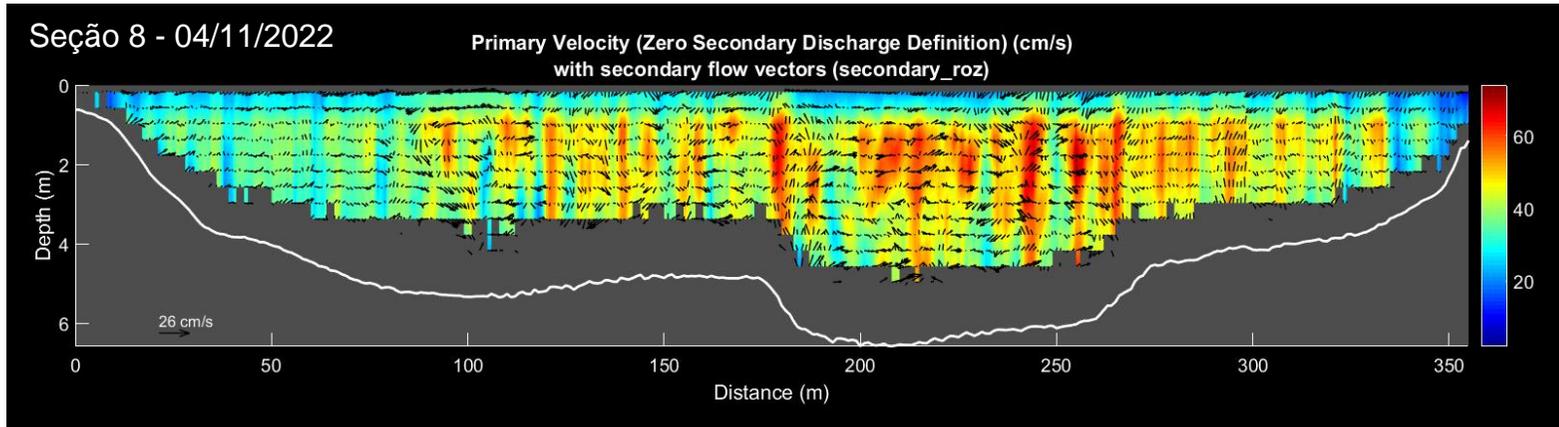
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

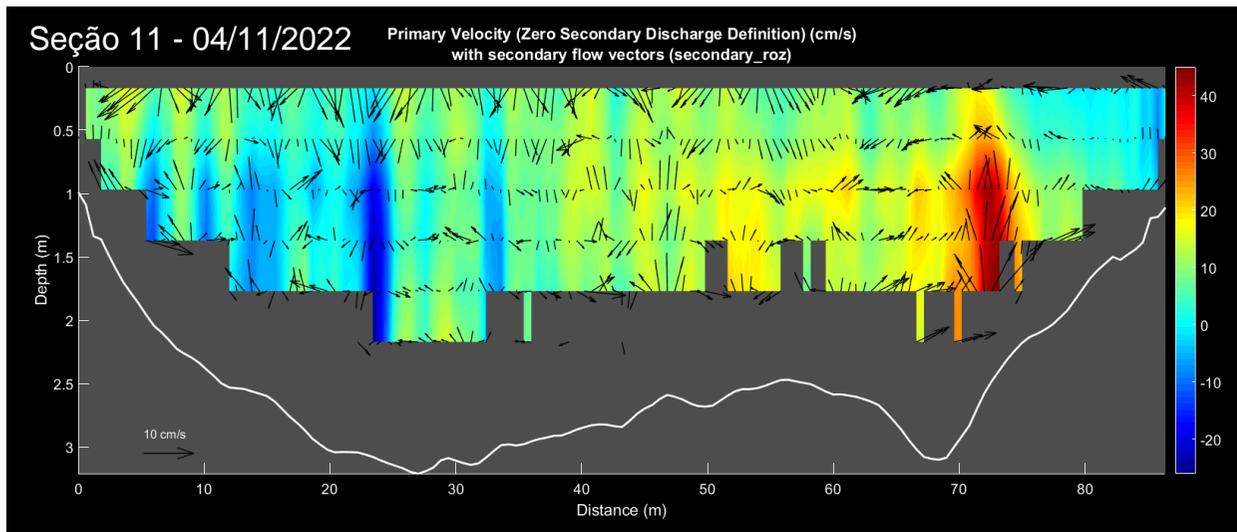
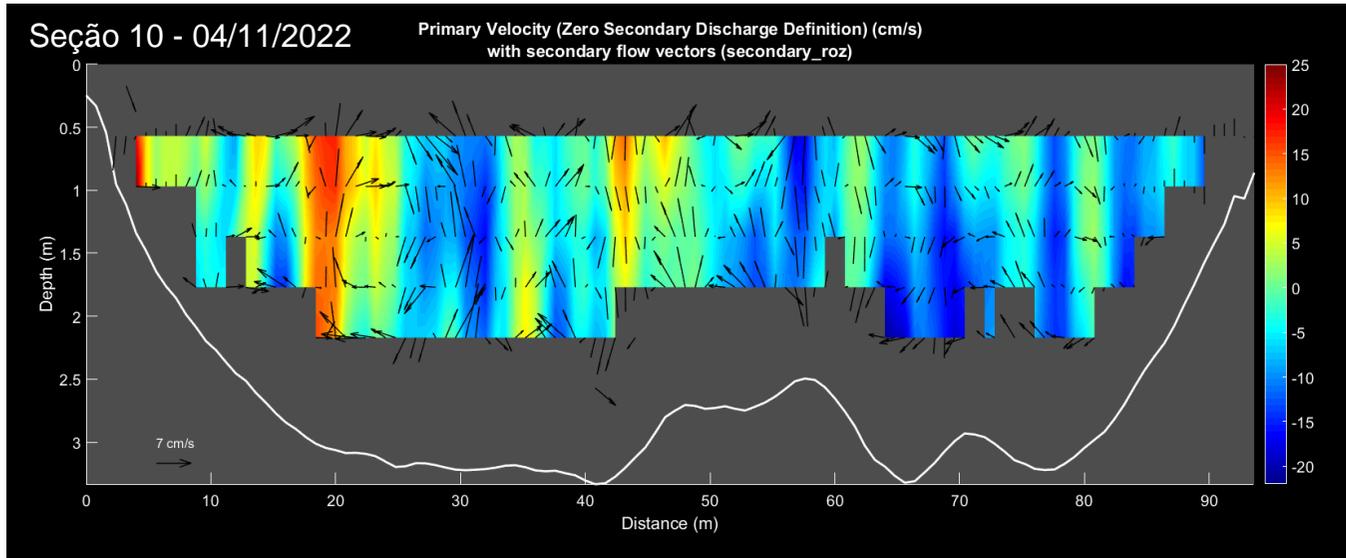
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

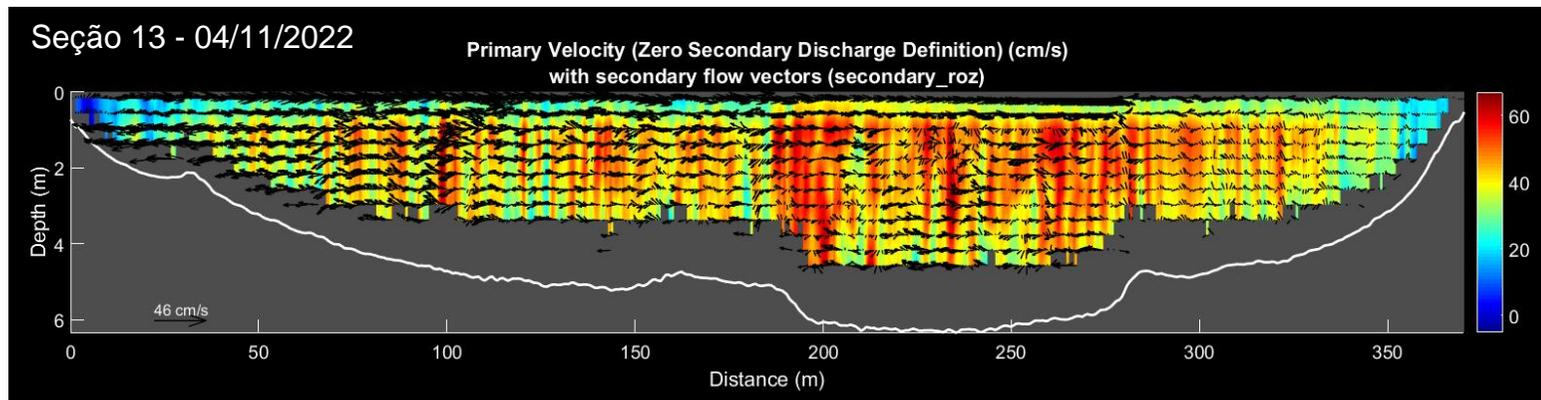
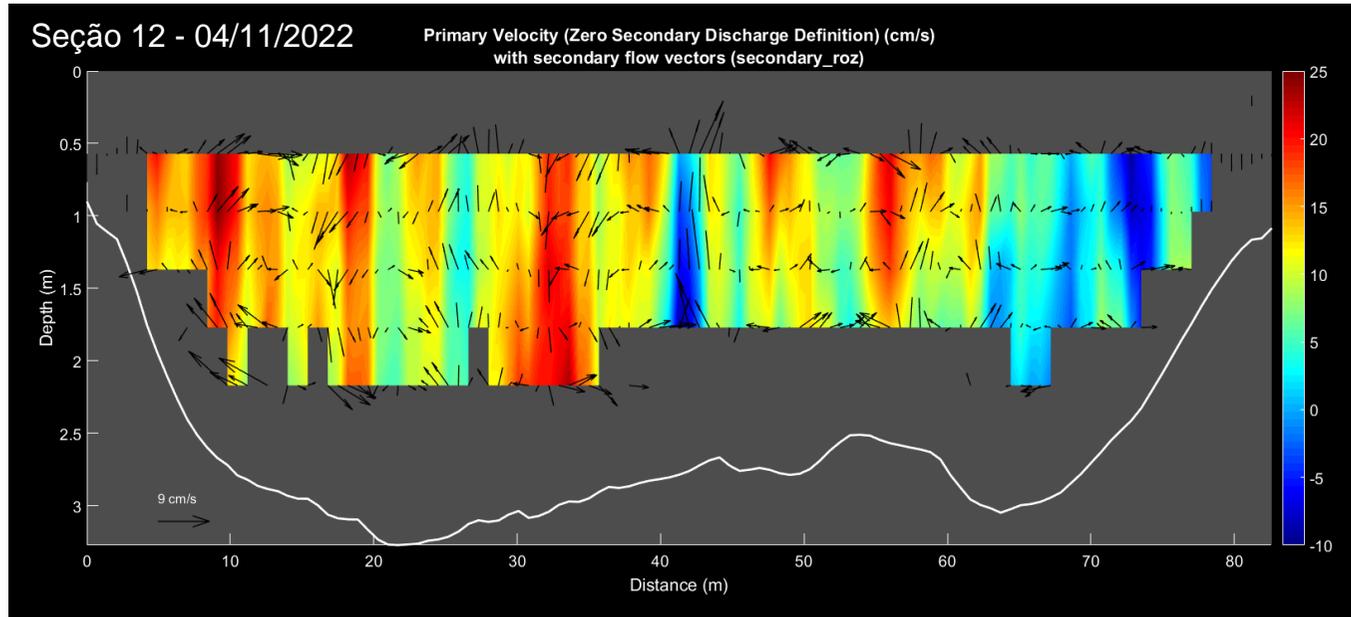
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

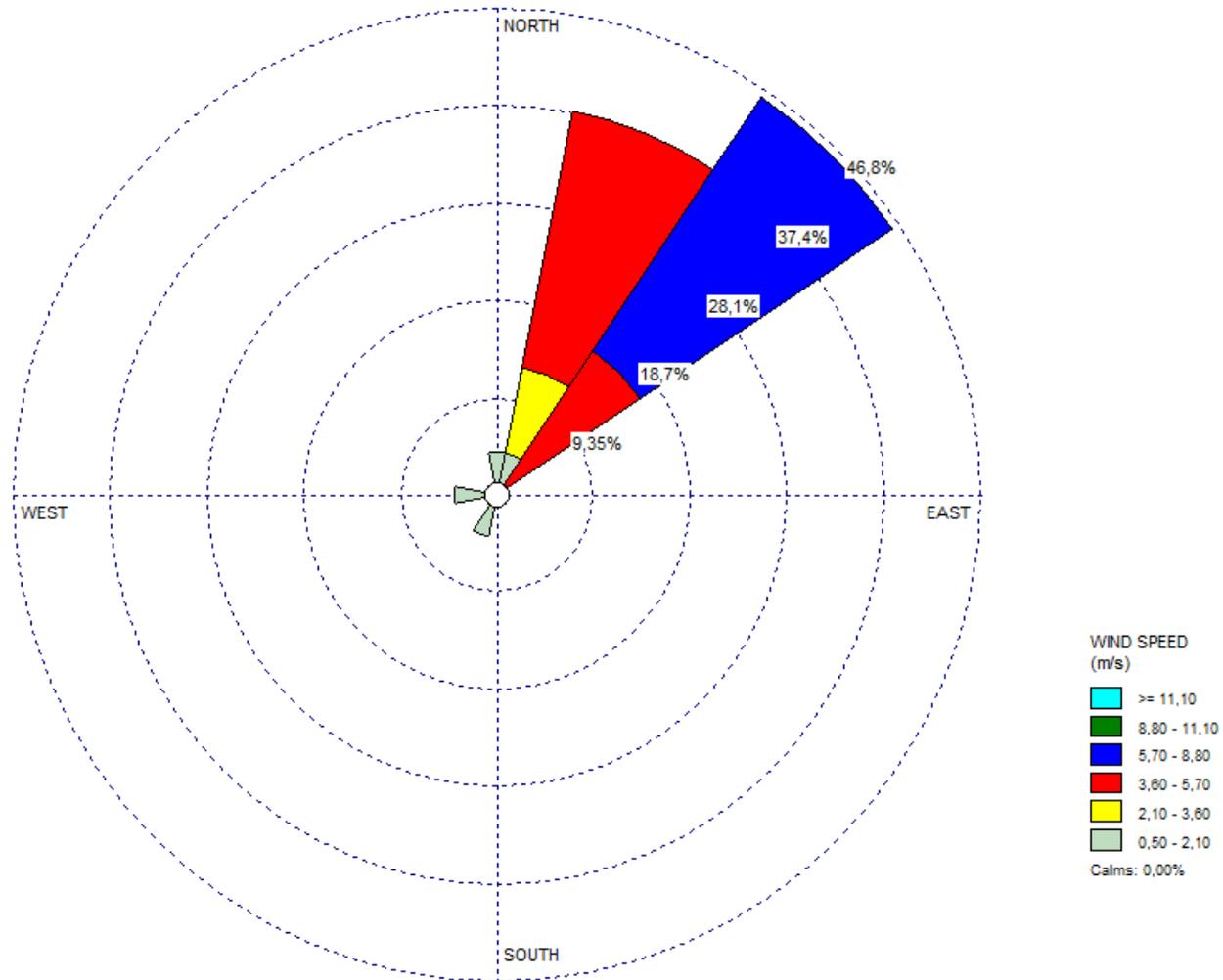
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

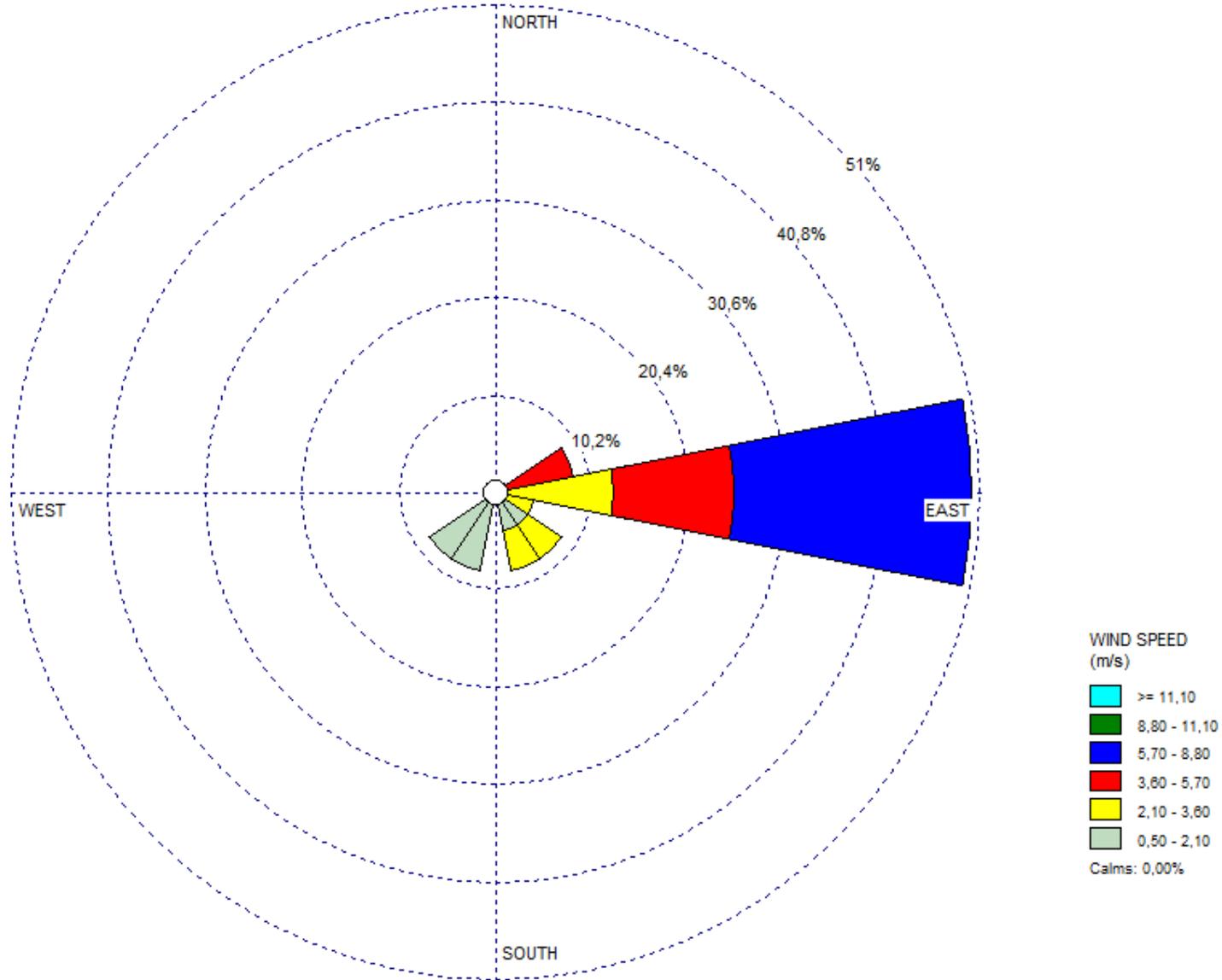
Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(continuação)**

Apêndice G – Visualização das seções transversais médias.**(conclusão)**

Apêndice H - Distribuição do vento nas direções da rosa dos ventos para 10/01/2022.

Apêndice J - Distribuição dos ventos nas direções da rosa dos ventos para 04/11/2022.



Apêndice K – Quantidade de sedimento que passa no processo de peneiramento e porcentagem do tamanho da partícula respectivas dos diâmetros de grãos em milímetros dos pontos amostrais.

Ponto Amostral	Peneira/Pipetagem	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022
	Diâmetro do grão (mm)	P (%)	P (%)	P (%)
1	4	100,000%	97,925%	99,824%
	2	100,000%	88,983%	96,891%
	1	99,817%	72,153%	80,576%
	0,71	99,427%	64,205%	72,307%
	0,5	98,537%	55,946%	62,807%
	0,25	95,143%	42,734%	49,120%
	0,125	85,282%	32,171%	38,029%
	0,063	52,173%	23,302%	27,635%
	0,031	51,818%	21,677%	25,953%
	0,016	50,468%	21,610%	23,600%
	0,008	43,523%	19,428%	18,818%
	0,004	28,370%	15,041%	13,229%
	0,002	12,833%	11,017%	8,749%
2	4	98,909%	96,317%	97,928%
	2	92,353%	78,939%	85,619%
	1	77,104%	56,287%	63,079%
	0,71	70,124%	48,898%	54,028%
	0,5	62,609%	40,530%	42,285%
	0,25	40,048%	21,553%	21,414%
	0,125	14,495%	6,755%	8,750%
	0,063	4,275%	3,757%	3,735%
	0,031	4,091%	3,548%	3,914%
	0,016	4,036%	3,309%	3,384%
	0,008	3,380%	2,634%	2,993%
	0,004	2,151%	1,980%	2,138%
	0,002	1,640%	1,422%	1,873%
3	4	96,342%	98,552%	98,923%
	2	91,616%	93,346%	92,852%

Apêndice K – Quantidade de sedimento que passa no processo de peneiramento e porcentagem do tamanho da partícula respectivas dos diâmetros de grãos em milímetros dos pontos amostrais.

(conclusão)

Ponto Amostral	Peneira/Pipetagem	10/01/2022	21/07/2022	04/11/2022
	Diâmetro do grão (mm)	P (%)	P (%)	P (%)
3	1	70,156%	64,215%	60,708%
	0,71	43,756%	39,720%	42,678%
	0,5	17,928%	16,634%	19,538%
	0,125	3,849%	1,952%	5,094%
	0,063	1,573%	0,512%	3,056%
	0,031	0,405%	0,230%	1,546%
	0,016	0,324%	0,226%	1,534%
	0,008	0,224%	0,213%	1,462%
	0,004	0,030%	0,170%	1,185%
	0,002	0,107%	0,180%	1,085%
4	4	99,83%	99,022%	99,742%
	2	97,26%	92,710%	98,300%
	1	85,14%	76,019%	87,608%
	0,71	66,49%	61,849%	72,275%
	0,5	36,35%	34,772%	38,380%
	0,25	7,54%	5,814%	7,503%
	0,125	3,41%	1,422%	1,899%
	0,063	0,97%	0,556%	0,591%
	0,031	0,79%	0,487%	0,517%
	0,016	0,52%	0,445%	0,480%
	0,008	0,37%	0,351%	0,443%
	0,004	0,35%	0,269%	0,433%
	0,002	0,32%	0,203%	0,417%