



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DA AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

TRABALHO DE CULMINAÇÃO DO CURSO

Modelagem da influência do fluxo hídrico na velocidade de queda de sedimentos no canal do Sistema de Regadio de Chòkwé usando o modelo HEC-RAS

Autora:

Martha Glers Afonso Zunguze

Tutor:

Eng°. Lateiro Salvador de Sousa, MEngSc

Lionde, Dezembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Martha Glers Afonso Zunguze "Modelagem da influencia do fluxo hídrico na velocidade de queda de sedimentos no canal de sistema de regadio de Chokwe usando o modelo HEC-RAS", monografia de investigação apresentada ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto superior politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia defendida e Aprovada em 26 de Novembro de 2021

Júri

Supervisor Lateiro Salvador de Sousa
(Eng^o. Lateiro Salvador de Sousa, *MEngSc*)

Avaliador (1) Agostinho Cardoso Hlavanguang
(Eng^o. Agostinho Cardoso Hlavanguang, *MSc*)

Avaliador (2) Paulo Sérgio Lourenço Saveca
(Eng^o. Paulo Sérgio Lourenço Saveca, *MSc*)



Modelagem da influência do fluxo hídrico na velocidade de queda de sedimentos no canal do Sistema de Regadio de Chókwè usando o modelo HEC-RAS

Autora:

Martha Glers Afonso Zunguze

Tutor:

Eng^o. Lateiro Salvador de Sousa, MEngSc



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia de Modelagem da influência do fluxo hídrico na velocidade de queda de sedimentos no canal do Sistema de Regadio de Chókwè usando modelo HEC-RAS, a ser apresentado ao curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de agricultura do instituto superior politécnico de gaza, como requisito para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Tutor: Eng^o. Lateiro Salvador de Sousa, MEngSc.

Lionde, Dezembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus tutores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, Dezembro de 2021

(Martha Glers Afonso Zunguze)

Dedicatória

Dedico este trabalho em especial a minha Preciosa Mãe (Abdora Uandela) e meus Tios (Emerson Uandela e André Uandela) que tornaram essa jornada, que levou-me a conclusão desse trabalho. Também dedico aos Meus Avos (Alfredo Uandela e Marta Ngale). E ao meu Irmão (Crimildo) que este trabalho sirva de inspiração e motivação, para que nunca desista de correr atrás dos seus objectivos.

Agradecimentos

Primeiro agradecer a Deus pela vida, saúde, força, coragem para superar as dificuldades, por iluminar o meu caminho durante toda esta longa jornada e, por permitir que tudo isso acontecesse e por me fazer ver que para cada evento da vida há sempre uma chance para, recomeçar, reconstruir e vencer.

A minha Mãe (Abdora Uandela) e Meus tios (Emerson Uandela e André Uandela), por todo o apoio moral e financeiro que prestaram durante esse percurso.

Ao Eng^o. Lateiro Salvador de Sousa, MEngSc pela disponibilidade demonstrada, paciência e prontidão com que sempre me recebeu para o esclarecimento de qualquer dificuldade na realização do trabalho.

A todos que directas (Gold Xindere) ou indirectamente (Dalton Ponguane, Danilo Uandela, Nilza Huo, Crimildo Mahesse, Evaristo Uandela, Ofélia Uandela, Alfredo Uandela e Marta Ngale) ajudaram-me nesta jornada.

Aos meus colegas que tive o privilégio de conhecer, ao longo desta caminhada.

1. Índice	
Agradecimentos.....	v
Índice de tabelas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
RESUMO.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema e justificativa.....	1
1.2 Objectivos.....	2
1.2.1 Geral.....	2
1.2.2 Específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Batimetria.....	3
2.1.1 Aplicação da batimetria	3
2.1.2 Limitação da batimetria	3
2.2 Caracterização da distribuição de partículas dos sedimentos.....	4
2.3 Sedimentos coesivos	4
2.4 Sedimentos não-coesivos	5
2.5 Descarga sólida em suspensão	7
2.6 Simulação do transporte de sedimentos	7
2.7 Modelação da velocidade de sedimentação das partículas.....	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 Descrição da área de estudo	11
3.2 Caracterização da batimetria do canal principal do SRC.....	12
3.3 Caracterização da distribuição de partículas dos sedimentos suspensos.....	13
3.3.1 Determinação da concentração de sedimentos suspensos	13
3.4 Determinação da vazão líquida	14
3.5 Simulação do processo do transporte de sedimentos no canal.....	14
3.6 Modelação da velocidade de sedimentação das partículas em diferentes profundidades do canal	15
4.1. Batimetria do canal principal	17
4.1.2. Secções transversais do Sector Rio, Sul e Montante	19
4.2. Distribuição dos sedimentos suspensos	21

4.3.	Correlação entre a concentração e outros factores	22
4.4.	Simulação do Transporte de sedimentos	23
4.4.1.	Validação do modelo	23
4.4.2.	Modelação a velocidade de sedimentação	24
5.	Conclusão.....	27
6.	Bibliografia	28
1.	Apêndices.....	30
	Apêndice 2: Validação do modelo	31

Índice de tabelas

Tabela 1.	Factores empíricos (K e m) que dependem do tipo de sedimento, da turbulência do escoamento e salinidade.....	10
Tabela 2.	Correlação entre a concentração e outros factores.....	22
Tabela 3:	Medias segundo Yang (Hec-Ras)	48
Tabela 4:	Media Segundo Laursen Copeland(Hec-Ras).....	49
Tabela 5:	Media Segundo Laursen Copeland (Hec-Ras).....	49
Tabela 6:	Media Segundo Yang (Hec-Ras)	49
Tabela 7:	Media Segundo Laursen Copeland (Hec-Ras).....	50
Tabela 8:	Media Segundo Yang (Hec-Ras)	50
Tabela 9:	Media Segundo Yang (Hec-Ras)	51
Tabela 10:	Media Segundo Laursen Copeland (Hec-Ras).....	51
Tabela 11:	Dados da Tomada	54
Tabela 12:	Dados N°	56

Índice de figuras

Figura 1. Representação das formas de transporte de sedimentos, sendo a = arrasto, b= salto e c=suspensão. Fonte: Lopes (2012).....	6
Figura 2: Distribuições verticais que podem ser encontradas em um rio. Fonte: Sedimentation S. o., 1963.....	7
Figura 3. Localização do Sistema de Regadio de Chòkwé (A), Mapa do Regadio de Chòkwé (B).	12
Figura 4. Watertrap, instrumento usado para colectada das amostras de sedimentos suspensos.	13
Figura 5. Cápsulas contendo amostras depois da secagem na estufa.	14
Figura 6. Interface do HEC-RAS 5.0.0.....	15
Figura 7: Ilustração de métodos de velocidade de queda, função de transporte e método de classificação no HEC-RAS.	16
Figura 8: Troços do Perfil longitudinal da batimetria do canal para sector Montante (A), sector Sul (B) e sector Rio (C).	18
Na Figura 9 (de a ate i), apresentam-se as secções transversais do canal:.....	20
Figura 10. Distribuição da concentração de sedimentos suspensos no canal principal do sistema de regadio de Chókwè.....	21
Figura 11: Relação entre a velocidade, CSS e vazão.....	22
Figura 12. Gráfico de variação de velocidade total em todas secções de sistema de Regadio de Chòkwé na Primeira semana (A), Segunda semana (B), Terceira semana (C) e Quarta semana (D).	26
Figura 13. Batimetria do fundo do canal para os anos 2001 e 2016.....	31
Figura 14: Concentração de sedimentos em função de tempo nas secções (Tomada, No, FIPAG, Massavasse, Conhane, Muianga e Nico) segundo (Laursen-Copeland).....	31
Figura 15: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Laursen-Copeland).....	31
Figura 16: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen-Copeland).	32
Figura 17: Concentração de sedimentos em função de tempo em Tomada, segundo (Yang).	32
Figura 18: Concentração de sedimentos em função de tempo em No, segundo (Yang).	32

Figura 19: Concentração de sedimentos em função de tempo na FIPAG, segundo (Yang).....	32
Figura 20: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse,segundo (Yang).33	
Figura 21: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang).	33
Figura 22: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang).....	33
Figura 23: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang).	33
Figura 24: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Yang).	34
Figura 25: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang).	34
Figura 26: Concentração de sedimentos em função de tempo nas secções (Tomada, Nó, FIPAG e Conhane) segundo (Laursen-Copeland)	34
Figura 27: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Laursen- Copeland).....	35
Figura 28: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Laursen- Copeland).....	35
Figura 29: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Laursen- Copeland).....	35
Figura 30: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nico, segundo (Laursen- Copeland).....	35
Figura 31: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen-Copeland).	36
Figura 32: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Yang).	36
Figura 33: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nó, segundo (Yang).	36
Figura 34: Concentração de sedimentos em função de tempo no FIPAG, segundo (Yang).	37
Figura 35: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang).....	37
Figura 36: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Yang). 37	
Figura 37: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang).	37
Figura 38: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang).	38
Figura 39: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nico, segundo (Yang)	38
Figura 40: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang).	38

Figura 41: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Yang)	38
Figura 42: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nó, segundo (Yang)	39
Figura 43: Concentração de sedimentos em função de tempo na FIPAG, segundo (Yang).....	39
Figura 44: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang).....	39
Figura 45: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Yang)	39
Figura 46: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang)....	40
Figura 47: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang)....	40
Figura 48: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Yang)	40
Figura 49: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang)	40
Figura 50: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Laursen Copeland).....	41
Figura 51: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nó, segundo (Laursen Copeland)	41
Figura 52: Concentração de sedimentos em função de tempo no FIPAG, segundo (Laursen Copeland).....	41
Figura 53: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Laursen Copeland).....	41
Figura 54: Concentração de sedimentos em função de tempo Massavasse, segundo (Laursen Copeland).....	42
Figura 55: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Laursen Copeland).....	42
Figura 56: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Laursen Copeland).....	42
Figura 57: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Laursen Copeland).....	43
Figura 58: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen Copeland).....	43
Figura 59: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Yang)	43

Figura 61: Concentração de sedimentos em função de tempo no FIPAG, segundo (Yang)	44
Figura 62: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang).....	44
Figura 63: Concentração de sedimentos em função de tempo na Massavasse, segundo (Yang) .	44
Figura 64: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang).....	44
Figura 65: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang).....	45
Figura 66: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Yang)	45
Figura 67: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang)	
.....	45
Figura 68: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Laursen	
Copeland).....	45
Figura 69: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nó, segundo (Laursen	
Copeland).....	46
Figura 70: Concentração de sedimentos em função de tempo em FIPAG, segundo (Laursen	
Copeland).....	46
Figura 71: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Laursen	
Copeland).....	46
Figura 72: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Laursen	
Copeland).....	46
Figura 73: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Laursen	
Copeland).....	47
Figura 74: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Laursen	
Copeland).....	47
Figura 75: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Laursen	
Copeland).....	47
Figura 76: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo	
(Laursen Copeland).....	47
Figura 77: Ponte Massavasse	Figura 78: Ponte Tomada do canal principal.....
	52
Figura 79: Ponte FIPAG	Figura 80: Cápsulas usadas na secagem de sedimentos suspensos
	52
.....	
Figura 81: Secção Rio (Marrambajane).....	52

Lista de símbolos e abreviaturas

Q_{ss} – descarga solida em suspensão (t/dia).

Q - descarga líquida em metro cubico por segundo e

C – concentração de sedimentos em miligrama por litro.

W_s- é a velocidade de sedimentação em m/s.

ρ_s -é a densidade da particula em kg/m³;

g -é a gravidade em m/s²;

ρ -é a densidade de agua em kg/m³;

d -é o Diâmetro da partícula metros;

ν -é a viscosidade dinâmica em m²/s.

\forall é - o volume da partícula;

ρ_L - a densidade do fluído;

ρ_s - a densidade da partícula, e

g - a aceleração da gravidade.

CSS- concentração de sedimentos suspensos (g/l)

M- Peso final do sedimento suspenso (g)

V- Volume (l)

HEC-RAS- Hydrologic Engineer Center- River Analysis System

SRC- Sistema de Regadio de Chòkwé

RESUMO

O presente trabalho visou modelar a influência do fluxo hídrico na velocidade da queda de sedimentos no canal principal do Sistema de Regadio de Chòkwé (SRC), usando o modelo HEC-RAS. Para o alcance dos objectivos da pesquisa, fez-se a caracterização da batimetria do canal de modo a obter dados calibrados para o modelo, assim como a distribuição das partículas de sedimentos. Detalhes dos sectores hidráulicos do SRC, seus troços, largura de secção transversal, condições de delimitações e tamanho das partículas, foram considerados. Resultados sugerem que o HEC-RAS descreveu com alguma eficácia as condições reais do canal, tendo-se feito a simulação de transporte de sedimentos. O modelo mostrou que as menores concentrações de sedimentos ocorrem no Nó do canal, e as maiores, na Tomada, com respectivamente 195.185mg/l e 885.926 mg/l. O estudo permitiu observar também que, em época chuvosa a produção de sedimentos é maior e que, as concentrações são directamente relacionadas com a descarga sólida de 0.641 t/dia e turbidez de 0.828 NTU. Simulação das velocidades médias de queda de sedimentos na Tomada, Nó, FIPAG, Conhane, Massavasse, Lionde, Muianga, Nico e Marrambajane indicaram 0.0166, 0.0152, 0.0153, 0.0354, 0.0104, 0.271, 0.069, 0.0677 e 0.195 m/s, respectivamente. Velocidade média deste intervalo sugere que ao longo do SRC predomina partículas finas e grossas. Estes resultados têm potencial para serem usados para estimar e projectar a quantidade de sedimentos no regadio e a sua velocidade de transporte e/ou queda, com base nas informações remotas.

Palavras-chave: HEC-RAS; Velocidade de Queda; Sedimentação;

Abstract

The present work aimed to model the influence of water flow on the velocity of sediment fall in the main channel of the Chòkwé Irrigation System, using the HEC-RAS model. To achieve the objectives of the research, the characterization of the bathymetry of the channel was carried out in order to obtain calibrated data. We also sought to characterize the distribution of sediment particles. HEC-RAS showed a computational model of the system for real irrigated conditions to simulate sediment transport. The model shows that the lowest sediment concentrations (195,185mg/l) occur at the channel node, and the highest (885,926 mg/l) at the Outlet. It was also observed that in the rainy season the production of sediment tends to increase and that the concentrations are highly related to solid discharge ($\rho=0.641\text{t/day}$) and turbidity ($\rho=0.828\text{NTU}$). The average sediment fall velocities at the Outlet, Node, FIPAG, Conhane, Massavasse, Lionde, Muianga, Nico and Marrambajane are: 0.0166, 0.0152, 0.0153, 0.0355, 0.0104, 0.271, 0.069 and 0.0677 m/s, respectively. These results can be used to estimate the amount of sediment in the irrigation and its transport and/or fall velocity.

Keywords: HEC-RAS,; Fall Velocity; Sedimentation.

1. INTRODUÇÃO

O canal do Sistema de Regadio de Chókwè o principal sistema de irrigação em Moçambique e recebe a água a partir do Rio Limpopo a aproximadamente $45 \text{ m}^3/\text{s}$, e é composto por três principais sectores hidráulicos, nomeadamente, o Montante, Sul e Rio. O aumento do transporte de partículas e agregados do solo dá-se com o aumento da velocidade e com a espessura da lâmina de água, para além do tamanho da partícula em causa. Segundo (Parker et al., 1995), a velocidade da água, por sua vez, aumenta com o aumento da declividade e com a redução da rugosidade da superfície do solo. Quanto menor for a velocidade da água menor será a capacidade de transporte do material erodido causando dessa forma o assentamento das partículas maiores, em diferentes profundidades da secção transversal do canal. No sistema de regadio de Chókwè, observa-se alguns problemas relacionados com a gestão de água, caracterizados pela limitada capacidade de controlo de processos de sedimentação. Segundo Kelniar, 2014, quando a energia do escoamento superficial, que depende do volume e da velocidade da água, não é mais suficiente para transportar o material sólido em suspensão, este material deposita-se. Tendo em conta que o SRC enfrenta sedimentação em várias de suas secções do canal, surge a necessidade de se ter um modelo para estimativa de sedimentos. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objectivo de modelar a influência da velocidade da água na sedimentação no canal do Sistema de Regadio de Chókwè usando o modelo HEC-RAS, de modo a simular várias situações práticas, que sejam úteis em estudos futuros de sedimentação.

1.1 Problema e justificativa

No Sistema de Regadio de Chókwè (SRC) ocorre sedimentação na base dos canais, em resultado da remoção por erosão, da camada superficial dos solos. Este facto é exacerbado pelo facto do regadio não ser revestido. Outrossim, verifica-se que o efeito erosivo é ainda maior durante época chuvosa, quando as cheias aumentam a capacidade de geração de escoamento superficial, resultando na depreciação da qualidade da água, e a vazão normal do canal. No SRC, várias são as vezes que se reporta o fenómeno de assoreamento dos canais, limitando a capacidade de

condução de água, e prejudicando a produção de culturas nos pontos mais a jusantes. A situação é agravada devido a dificuldade de proceder com a manutenção dos canais no regadio, pela decilitragem. Para contribuir para a solução do problema, levou-se a cabo presente estudo, com interesse de conhecer os locais mais propensos e os mais afectados à sedimentação, podendo facilitar o direccionamento dos esforços visando gestão e manutenção para esses pontos. Entretanto, pode ser que os gestores do SRC enfrentem dificuldades de fazer uma gestão em tempo real dos sedimentos por falta de modelos calibrados e adequados para o efeito. Encontrar modelos de gestão de sedimentos para SRC poderão ajudar a HICEP a gerir o sistema no que se refere a sedimentos.

1.2 Objectivos

1.2.1 Geral

- ✚ Modelar a influência do fluxo hídrico na velocidade de queda de sedimentos no canal do Sistema de Regadio de Chókwè usando modelo HEC-RAS.

1.2.2 Específicos

- ✚ Caracterizar a batimetria do canal principal do SRC;
- ✚ Caracterizar a distribuição de partículas dos sedimentos suspensos;
- ✚ Simular o processo de transporte de sedimentos no canal; e
- ✚ Modelar a velocidade de sedimentação das partículas em diferentes profundidades do canal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Batimetria

O conceito da batimetria provém do grego “*Bathus + metron*” que significa medição de profundidade. A batimetria é a medição de profundidade dos oceanos, lagos e rios é expressa cartograficamente por curvas batimétricas que unem pontos com mesma profundidade, com equidistâncias verticais à semelhança das curvas de níveis topográficas PTR, 2013.

A batimetria trata do conjunto dos princípios, métodos e convenções usados para determinar a medida do contorno, da dimensão relativa da superfície submersa dos mares, rios, lagos, represas e canais (Gagg, 2016). No entanto, o levantamento batimétrico tem como objectivo determinar o comportamento morfológico do relevo hidrográfico desses ambientes (lagos, rios, canais, oceanos), para poder representar-lhos cartograficamente. Este levantamento consiste na obtenção das coordenadas planimétricas e altimétricas de um conjunto de pontos distribuídos, de forma homogénea, por toda área referente ao projecto em estudo (Zimmermann, 2015).

2.1.1 Aplicação da batimetria

Segundo PTR, 2013 a batimetria aplica-se para:

- ✚ Hidrometria, quando se refere a medições de vazão e cotas de rios;
- ✚ Lagos de detritos, quando se refere a processo de mineração e produção de alumínio;
- ✚ Controle de assoreamento, quando se refere ao reconhecimento de locais onde se depositam os materiais sólidos que formam o assoreamento;
- ✚ Dragagem, quando se refere a retirada do material depositado em cursos de corpos de água.

2.1.2 Limitação da batimetria

Segundo (Gagg, 2016), uma das grandes dificuldades nos levantamentos batimétricos compreende:

- ✚ O controlo do posicionamento planimétrico da embarcação de sondagem, uma vez que não é possível a materialização de pontos estáveis de observação;

- ✚ A repetição das medições visando um ajustamento das profundidades.

As medições da profundidade podem ser feitas de forma directa (uso do prumo de mão, máquina de sondar e estadias) ou indirecta (emprego de sensores acústicos como o ecobatímetro monofeixe ou multifeixe, sensores electromagnéticos espaciais ou aerotransportados) (Krueger, 2005). Factores que devem ser considerados durante levantamento batimétrico, incluem a visibilidade, profundidade, aplicação, tempo para execução, dimensão da área, etc.

Outra limitante encontrada para o sucesso de levantamento batimétrico relaciona-se com acesso aos equipamentos específicos que permitam fazer o levantamento em cursos de água, quando os mesmos estão em carga hidráulica. Sendo para o efeito recomendado uso de dispositivos mais eficientes, contudo caros.

2.2 Caracterização da distribuição de partículas dos sedimentos

Segundo Dalpiaz, 2014, de acordo com a mineralogia, a avaliação do transporte de sedimentos e depósitos dos mesmos podem ser classificados em duas categorias:

- ✚ Sedimentos coesivos;
- ✚ Sedimentos não-coesivos.

2.3 Sedimentos coesivos

Sedimentos coesivos são sedimentos lamacentos, compostos por argila e silte (tamanho de grão inferior a $63 \mu m$). O conteúdo orgânico e processos biológicos são parâmetros que afectam na sedimentação e erosão do leito (Mitchener & Torfs, 1996).

Partículas de sedimentos coesivos tendem a ficar juntas, formando agregados grandes (flocos de lama), que tem uma velocidade de sedimentação muito mais elevada do que as partículas individuais. O que, por sua vez, requer maiores tensões de cisalhamento para erosão do leito (Howing & Rijn, 1998).

2.4 Sedimentos não-coesivos

Sedimentos não coesivos são mais grossos, não tendem a aderir umas as outras (sem influência de forças inter partículas) e são compostos principalmente de areia e cascalho (tamanho de grão superior a $63 \mu m$) (Araujo, 2004). De acordo com Mikkelsen (2002) a deposição de sedimentos depende do seu tamanho e da tensão de cisalhamento do leito, e em sedimentos coesivos em que a floculação tem lugar, a formação de flocos e preservação dependem da turbulência de onde:

- ✚ Se a tensão de cisalhamento do leito é reduzida, a turbulência é baixa e, portanto, as interações entre partículas não são suficientemente intensas para causar a floculação;
- ✚ Mas se for muito alta, as colisões de partículas são aumentadas e os flocos se quebram.

Em geral, a floculação se torna importante apenas em fluxos de alta concentração de sedimentos, alta concentração salina e altas temperaturas (Julien 2010). Segundo (Carvalho, 2008) os sedimentos que chegam ao curso de água apresentam diversas formas, tamanhos e pesos, sendo submetidos a um processo de transporte diferenciado, de acordo com as condições do local e do escoamento. De acordo com o autor, o transporte de sedimentos nos canais pode ocorrer de três maneiras:

- ✚ Carga sólida de arrasto- que são as partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso de água.
- ✚ As partículas estão em contacto com o leito praticamente todo o tempo. Carga sólida saltante que são as partículas que pulam ao longo do curso de água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas.
- ✚ Carga sólida em suspensão que são as partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão.

A Figura 1 mostra as formas de transporte de sedimentos que pode ser por arrasto, salto e suspensão.

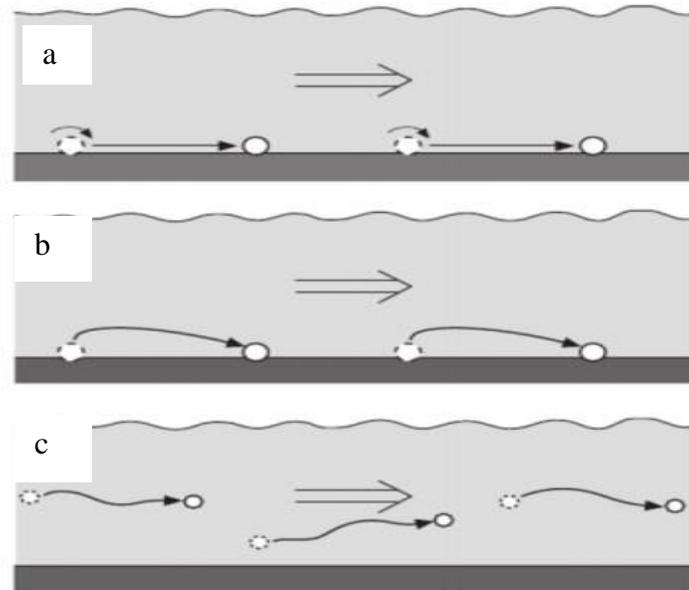


Figura 1. Representação das formas de transporte de sedimentos, sendo a = arrasto, b= salto e c=suspensão. Fonte: Lopes (2012).

O escoamento dos sedimentos no curso hídrico apresenta distribuição de partículas variadas numa vertical, numa seção transversal e ao longo do curso de água. Segundo Carvalho (2008), devido à ação da velocidade e peso das partículas, os sedimentos com granulometrias variadas apresentam distribuição diferentes na vertical. Partículas mais grossas do sedimento em suspensão, que são geralmente areias, apresentam uma variação crescente da superfície para o leito. As partículas mais finas têm distribuição mais uniforme na vertical.

A Figura 2 ilustra a distribuição vertical que se podem observar em corpos de água, onde os sedimentos estão presentes.

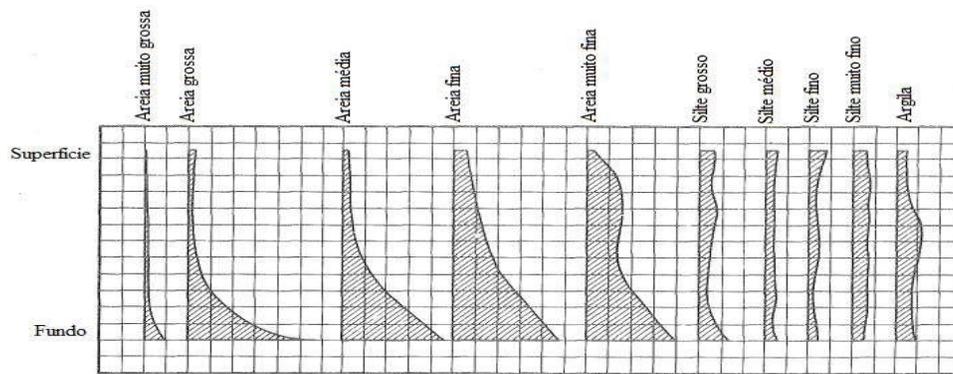


Figura 2: Distribuições verticais que podem ser encontradas em um rio. Fonte: Sedimentation S. o., 1963

2.5 Descarga sólida em suspensão

O sedimento em suspensão representa, na maioria dos casos, a maior quantidade de descarga sólida total num determinado corpo de água. O cálculo da descarga em suspensão é feito considerando que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a secção transversal, ficando então igual ao produto da descarga líquida pela concentração. Considerando a questão das unidades que não são homogêneas, num mesmo sistema, é necessário verificar a constante adequada, (Paiva, 2011).

Para as determinações usuais, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Q_{ss} = 0.0864Q_l \times C \quad (1)$$

Onde:

Q_{ss} - descarga sólida em suspensão (t/dia);

Q_l - descarga líquida (m^3/s); e

C - concentração de sedimentos (mg/l).

0.0864- Constante

2.6 Simulação do transporte de sedimentos

O transporte das partículas sólidas no corpo hídrico depende de vários factores, podendo destacar-se o tamanho da partícula, assim como, as condições do fluxo. Diversas equações

empíricas foram desenvolvidas e verificadas por vários investigadores, com a finalidade de prever o transporte sólido num escoamento em superfície livre (Peixoto, 2019).

Segundo Pegden (1990), simulação é um processo de projectar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos, com o propósito de entender seu comportamento e avaliar estratégias para sua operação com o objectivo de descrever o comportamento do sistema; construir teorias e hipóteses considerando as observações efectuadas; e usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

Os métodos de modelagem de transporte de sedimentos visam fornecer informações sobre o movimento de sedimentos em sistemas hidrodinâmicos, saídas de um modelo de transporte de sedimentos incluem estimativas de concentrações de sedimentos em suspensão, taxas de erosão de sedimentos, deposição e vias de transporte de sedimentos. No entanto, a maioria dos modelos de transporte de sedimentos, resolve equações hidrodinâmicas e relacionadas a sedimentos em cada etapa de tempo da simulação do modelo (ABPmer a marine consultancy and survey company, 2008).

Segundo Arantes, 2006, o transporte de sedimentos pode ocorrer de acordo com:

- ✚ Forças sobre partículas imersas;
- ✚ Início do movimento;
- ✚ Modalidades de transporte de material (material flutuante, material dissolvido e sedimentos); e
- ✚ Modalidades de transporte de sedimentos (wash-load ou material lavado) e bedload-material ou transporte de material do leito)

2.7 Modelação da velocidade de sedimentação das partículas

Segundo Dalpiaz (2014) a sedimentação é um processo físico de separação do material suspenso por acção da gravidade. As características físicas das partículas (densidade, dimensão, forma, rugosidade, etc.) determinam a sua velocidade de sedimentação. O transporte de sedimentos

depende de vários parâmetros, que podem estar ligados de uma forma directa com o diâmetro de sedimentos ou de uma forma indirecta com as características físicas do rio, canal ou corpo hídrico em causa. Para além desses parâmetros existem mecanismos usados para o cálculo de transporte de sedimentos, dentre estes destacam-se a velocidade da queda das partículas.

A velocidade da queda das partículas corresponde ao valor constante da velocidade adquirida pelas partículas quando somatório das forças que lhes estão aplicadas é igual a "zero" (Barbosa, 2017). Pode-se encontrar vários métodos de cálculo da velocidade de sedimentação nos quais destacam-se os métodos de Van Rijn (1984) e a Lei de Stokes (1851). A lei de Stokes, segundo George Gabriel Stokes, descreve a relação entre a força de atrito de uma esfera que se move em líquido e outras grandezas como raio da partícula, Velocidade da partícula:

$$W_s = \frac{(\rho_s - \rho)gd^2}{18\nu} \quad (2)$$

Onde:

W_s - velocidade de sedimentação (m/s).

ρ_s - Densidade da partícula (kg/m³);

g - Gravidade (m/s²);

ρ - Densidade de água (kg/m³);

d - Diâmetro da partícula (m); e

ν - Viscosidade dinâmica (m²/s).

18- Constante.

Considerando uma partícula em queda livre, a força que promove a sedimentação (F_s), isto é, a massa efectiva da partícula, é a diferença entre o seu peso e a força de empuxo.

$$F_s = \forall \rho_s g - Lg = k(\rho - \rho_L)g\forall \quad (3)$$

Onde:

V - Volume da partícula (m^3);

ρ_L - densidade do fluido (Kg/m^3);

ρ_s - densidade da partícula (Kg/m^3), e

g - aceleração da gravidade (Kg/m^3).

Estudos realizados por diversos autores verificaram que, a variação da velocidade de queda (W) com a concentração (C) no regime, pode ser descrita na forma da equação:

$$W = K \times C \quad (4)$$

Onde:

W - velocidade de queda (m/s)

C - concentração

K e m são factores empíricos que dependem do tipo de sedimento, da turbulência do escoamento e salinidade, sendo propostos vários valores de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Factores empíricos (K e m) que dependem do tipo de sedimento, da turbulência do escoamento e salinidade.

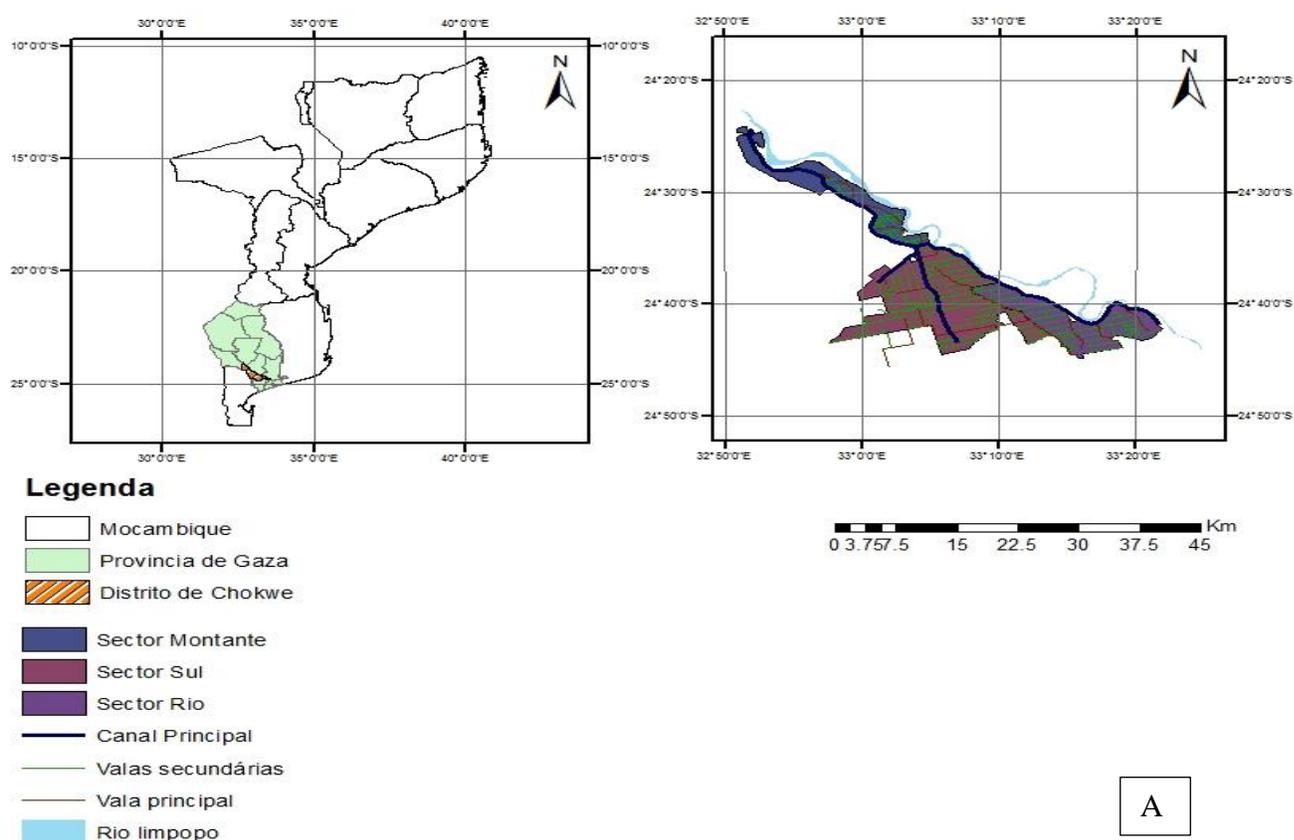
Autor	K	M	Observações
Krone (1962)	0.001	4/3	W – velocidade de queda (m/s) C – concentração (g/l) W – velocidade de queda (mm/s)
Van Leussen (1994)	-	0.5-3.5	Factor adicional $\frac{1+aG}{1+aG^2}$ a, b – constantes determinadas experimentalmente

Fonte: Dalpiaz (2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado no canal principal do Sistema de Regadio de Chókwè (SRC). O distrito de Chókwè está situado a Sul da província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo, tendo como limites a Norte o rio Limpopo e os distritos de Massingir, Mabalane e Guijá; a Sul o distrito de Bilene e o rio Mazimuchope que o separa do distrito de Magude, a Este confina com o distrito de Bilene e Magude e a Oeste com os distritos de Magude e Massingir. A temperatura média de Chókwè na época em que o estudo foi conduzido (25.6°C).



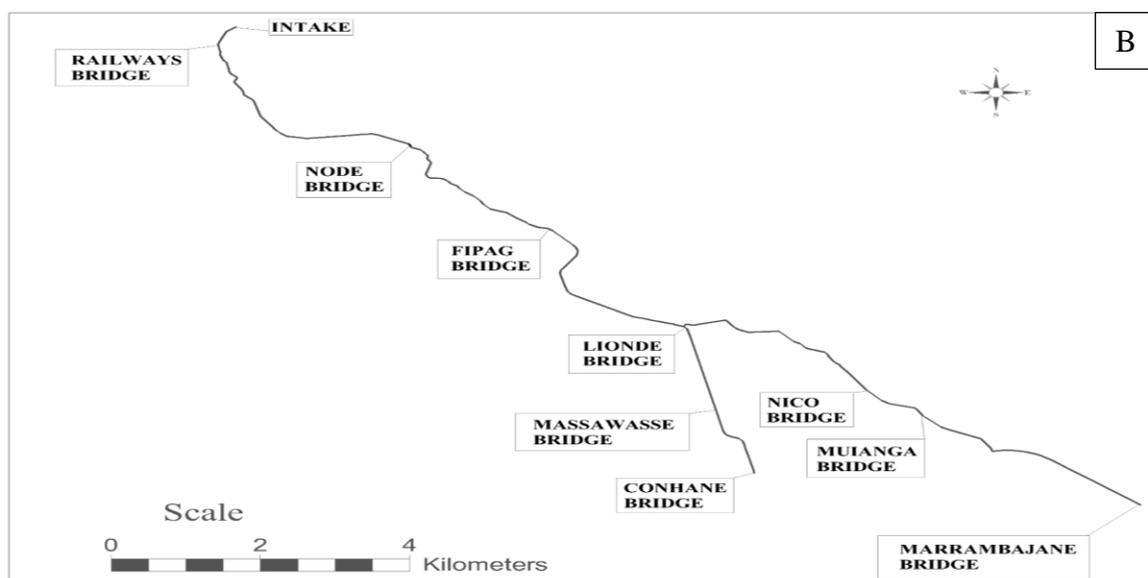


Figura 3. Localização do Sistema de Regadio de Chòkwé (A), Mapa do Regadio de Chòkwé (B).

3.2 Caracterização da batimetria do canal principal do SRC

A caracterização da batimetria foi feita através da representação gráfica das secções transversais do canal usando o software HEC-RAS (versão 5.0.0 ano 2016) e da relação da variação do comportamento do canal para o ano 2001 e de 2016. Os dados de 2001 foram obtidos na HICEP, através de acesso as informações constantes no projecto de reabilitação do canal principal do SRC, naquele ano. Os dados de 2016 foram obtidos através do levantamento de campo, naquele ano, quando o canal principal estava totalmente seco devido a seca severa que assolou a região no referido período. Para levantamento de dados usou-se o GPS-Rover para leitura de batimetria que foi feita de 100 em 100 m desde a tomada de água até Lionde. Os dados batimétricos de 2016 para a restante parte do canal principal até ao ponto mais ajusante, isto é, de Lionde a Marambajane, resultou de tentativas de modelação por iteração, visando completar a série de dados mantendo uma tendência sem muitas variações em relação ao original. Pois ausência de tal informação limitaria estimativas de sedimentação no canal.

3.3 Caracterização da distribuição de partículas dos sedimentos suspensos

De 27 de Fevereiro de 2020 a 18 de Maio de 2020 colectou-se 432 amostras de água usando *Watertrap*. Para cada sector (Sul, Montante e Rio) colectou-se 108 amostras em nove profundidades (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160cm) da secção transversal do canal do sistema de regadio de Chókwè. As amostras foram colocadas em garrafas plásticas de 500 ml e etiquetadas com data de colecta, local e profundidade. Após a colecta, mediu-se a condutividade eléctrica da água (em mS/cm), temperatura da da água (em °C), pH da água (-), turbidez (em NTU) e o peso das amostras antes e depois da secagem em estufa.



Figura 4. Watertrap, instrumento usado para colectada das amostras de sedimentos suspensos.

3.3.1 Determinação da concentração de sedimentos suspensos

Para a determinar a concentração de sedimentos suspensos (CSS), que foram usados na calibração do modelo no HEC-RAS, pesou-se as cápsulas vazias para obter o peso tara das cápsulas. De seguida retirou-se porções de sedimentos suspensos (25-100 ml) em cada amostra e fez-se a pesagem do volume de sedimentos juntamente com a cápsula, obtendo-se o peso final das amostras. Depois secou-se as cápsulas por evaporação numa estufa a 105 °C durante 24h, como se ilustra na Figura 4. Após a secagem retirou-se o peso dos sedimentos e calculou-se a concentração de sedimentos usando a seguinte fórmula:

$$CSS = \frac{M}{V} \quad (5)$$

Onde:

CSS- Concentração de sedimentos suspensos (g/l)

M- Peso final do sedimento suspenso (g)

V- Volume (l)



Figura 5. Cápsulas contendo amostras depois da secagem na estufa.

3.4 Determinação da vazão líquida

Para a determinação da vazão líquida, primeiro fez-se a leitura da profundidade a um metro de distância usando uma régua graduada num período de quatro semanas. Em cada profundidade (0-160 cm) fez-se a leitura de rotações da água em 50 segundos usando o molinete fluviométrico (posicionado a uma profundidade fixa entre o leito e a superfície) e determinou-se a velocidade da água através do produto das rotações em função do tempo.

3.5 Simulação do processo do transporte de sedimentos no canal

Nessa fase do trabalho foram realizadas as análises de sedimentos. A amostragem de sedimentos foi essencial para obter amostras representativas de sedimentos suspensos no canal em cada sector da secção transversal. Após a colecta, as amostras foram levadas ao Laboratório do Instituto Superior Politécnico de Gaza para análises, de turbidez e pH. A simulação do transporte de sedimentos fez-se no HEC-RAS versão 5.0.0, visto que seu modelo unidimensional permite simular o escoamento livre, seja em regime permanente ou em não permanente, além de permitir a análise de sedimentos e análise de qualidade da água (Santos K. A., 2015). Também utilizou-se o *Microsoft Excel* 2013 para manipulação de dados, sua análise e interpretação.

Ao usar HEC-RAS, primeiro criou-se um novo projeto seleccionando o menu *File/ New Project* e escolhendo o local onde foi salvo o arquivo, assim como o seu nome. De seguida, foram escolhidas as unidades que seriam utilizadas como entrada no *software* através do menu *Options/ Unit system* usando como unidade de entrada o sistema internacional (SI). Para definição da geometria do canal foi necessário aplicar a interpolação linear entre secções levantadas, tendo sido necessário estabelecer uma distância máxima interpolada. No entanto, foram testadas geometrias com secções interpoladas a uma distância máxima de 100 m e o coeficiente de Manning (n) também foi interpolado durante esse processo. Para simular o escoamento no regime quase permanente e analisar os sedimentos, foram utilizados os registos de vazão obtidos em todas secções transversais do canal, nomeadamente, o período de simulação, a temperatura média da amostra (°C), a duração do escoamento (24h), incremento computacional e a profundidade máxima de erosão. Os principais parâmetros de ajuste do regime quase permanente foram as funções de capacidade de transporte de sedimentos de acordo com Laursen-Copeland e Yang.

Na Figura 6 apresenta-se a interface do HEC-RAS, logo ao se iniciar o pacote.

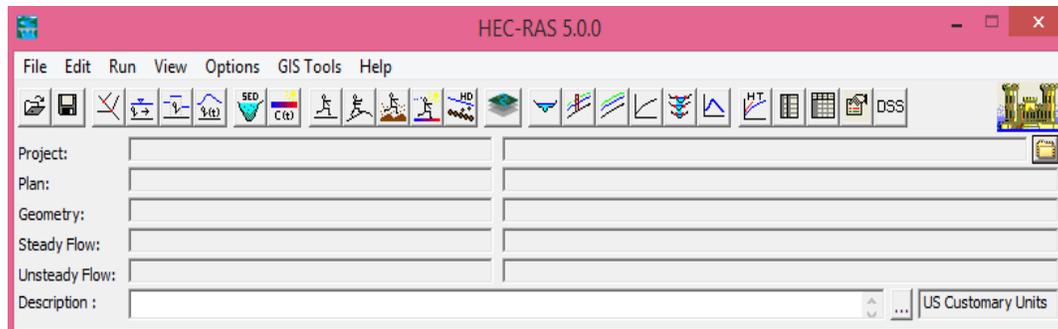


Figura 6. Interface do HEC-RAS 5.0.0

3.6 Modelação da velocidade de sedimentação das partículas em diferentes profundidades do canal

A modelação da velocidade de sedimentação fez-se no HEC-RAS, definindo-se a geometria do canal e efectuando o cálculo do transporte de sedimentos, considerando um fluxo quase permanente. O método para a modelagem da velocidade de sedimentação usado foi o de *velocidade de queda* de Van Rijn com o auxílio das funções de transporte de sedimentos de

Laursen-Copeland, e *Yang*, e método de classificação de Thomas (E×5). Para a classificação do fluxo modelou-se o diâmetro de sedimentos (d50%), o número de Froud e a variação do caudal, como se apresenta na Figura 7 (área circundada a vermelho).

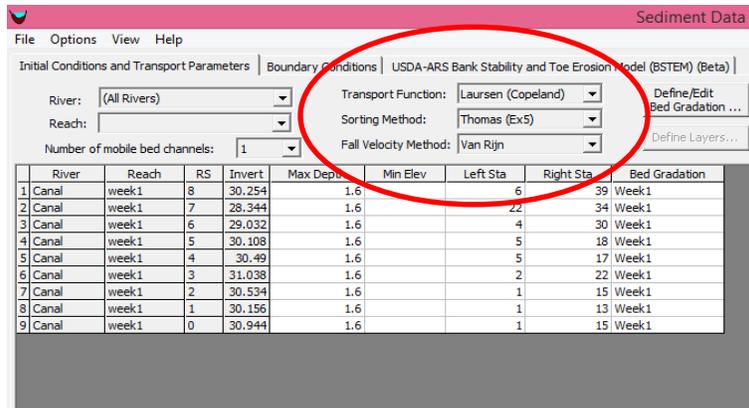


Figura 7: Ilustração de métodos de velocidade de queda, função de transporte e método de classificação no HEC-RAS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Batimetria do canal principal

Os resultados de batimetria do leito do canal mostram variação do desnível longitudinal entre os anos 2001 e 2016, desde sector hidráulico montante até ao sector rio. Pode verificar-se que com o passar dos anos a cota do leito do canal tende a aumentar, o que se pode traduzir em uma maior deposição de sedimentos no fundo do canal. Este facto é mais crítico nas zonas compreendidas entre os trechos de 5500-9100, 15400-16300 metros da tomada de água, onde a cota varia de Y m a Z m. A Figura 8 apresenta a batimetria do sector hidráulico Montante, em 2001 e 2016.

Observa-se que há alteração do perfil longitudinal, figura9 (A) com cota máxima de 29.04m e 28.55m em 2016 e 2011 respectivamente, ao decorrer do percurso as cotas tendem a diminuir, isso deve-se ao desgaste erosivo observado ao longo do canal com o passar do tempo.

Embora o perfil longitudinal figura9 (A) aparentemente apresenta uma inclinação equilibrada, observa-se que no ponto 8900-9000, a cota apresentou uma queda de 27.77m para 27.5 m em 2001 e de 27.98 para 27.58m em 2016, comportamento igual observou-se no perfil (C) e com isso ficou patente que em 2001 o canal esteve mais assentado em relação a 2016 com cota mínima de 25.5m e 25.79m 2001 e 2016 respectivamente, e que devido ao desgaste erosivo o canal tende a sofrer assoreamento ocasionando com o tempo o acúmulo de material no canal a jusante. Observa-se que há alteração do perfil longitudinal, figura9 (A) com cota máxima de 29.04m e 28.55m em 2016 e 2011 respectivamente, ao decorrer do percurso as cotas tendem a diminuir, isso deve-se ao desgaste erosivo observado ao longo do canal com o passar do tempo.

Embora o perfil longitudinal figura9 (A) aparentemente apresenta uma inclinação equilibrada, observa-se que no ponto 8900-9000, a cota apresentou uma queda de 27.77m para 27.5 m em 2001 e de 27.98 para 27.58m em 2016, comportamento igual observou-se no perfil (C) e com isso ficou patente que em 2001 o canal esteve mais assentado em relação a 2016 com cota mínima de 25.5m e 25.79m 2001 e 2016 respectivamente, e que devido ao desgaste erosivo o canal tende a sofrer assoreamento ocasionando com o tempo o acúmulo de material no canal a jusante.

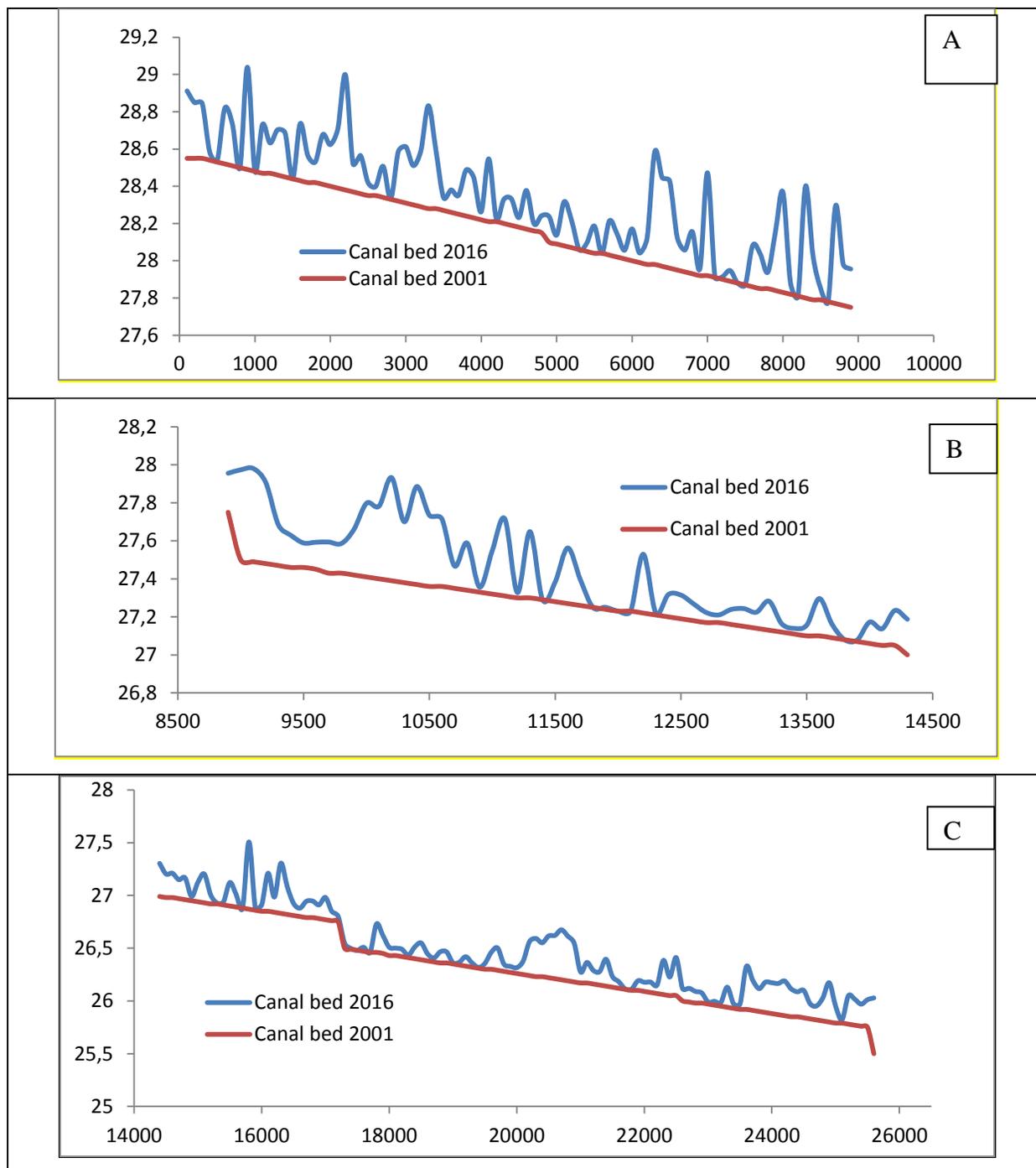


Figura 8: Troços do Perfil longitudinal da batimetria do canal para sector Montante (A), sector Sul (B) e sector Rio (C).

4.1.2. Secções transversais do Sector Rio, Sul e Montante

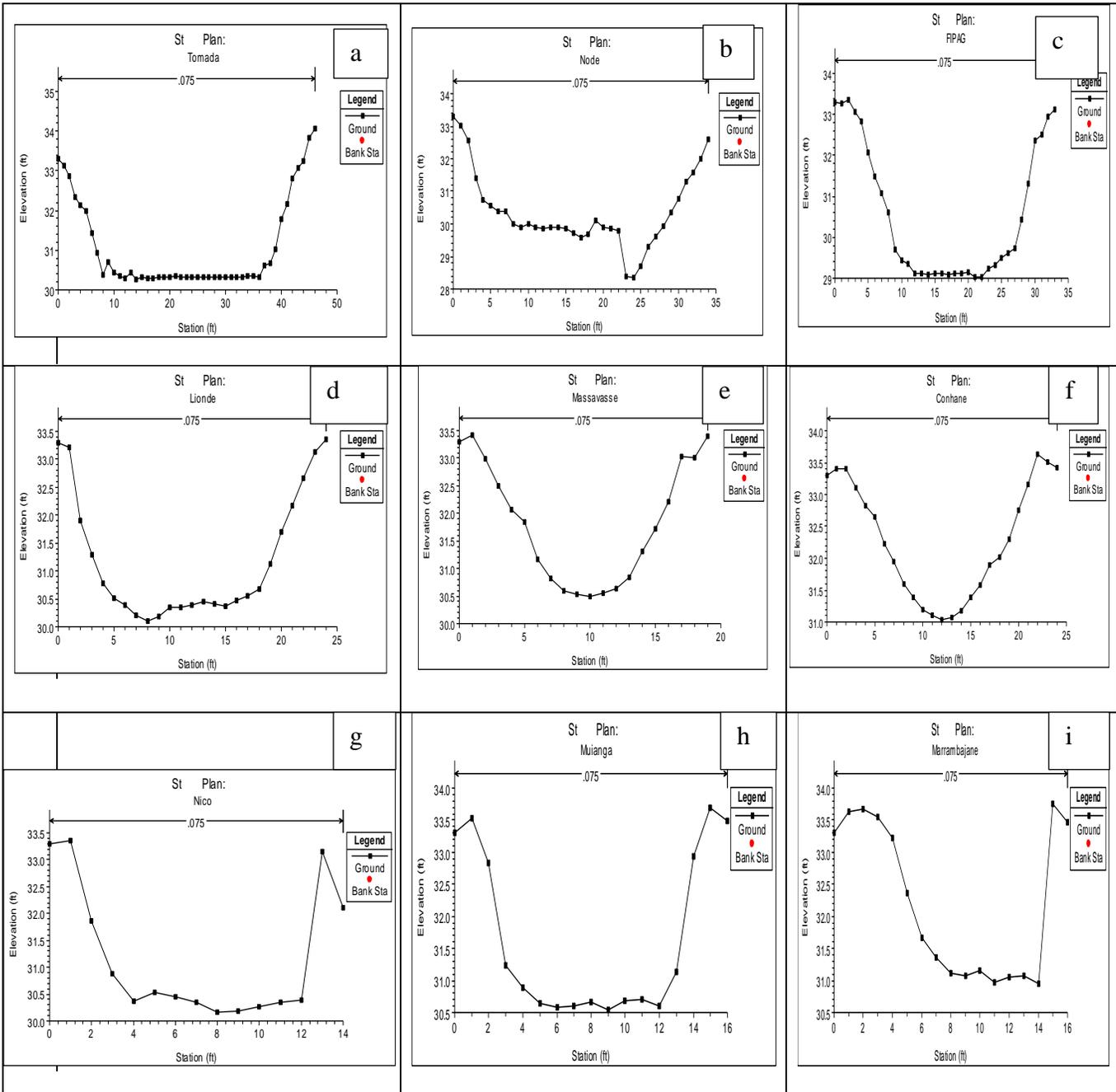
As secções transversais do canal tendem a variar desde o sector Montante ao sector Rio. Dos resultados pode observar-se que as menores cotas de fundo são verificadas no Nó do canal, com 28.344 metros, e as maiores são verificadas na Tomada, com 34.050 metros. Na ponte FIPAG observou-se que o formato da secção é irregular, visto que a sua forma geométrica não foge muito do trapézio, embora com a base e os taludes alterados, devido a presença do material vegetal. Na Tomada de água, verificou-se que a secção transversal do canal é regular, devido a estrutura de betão, ponte Nó notou-se que o formato da secção é irregular tendendo a ser circular, visto que a sua forma geométrica está alterada principalmente no talvegue da secção a irregularidade do canal foi observada também na ponte Lionde, Conhane, Nico e Muianga, estas secções não fogem muito do formato original (trapezoidal), essas irregularidades resultam da a presença de vegetação no local, assoreamento e presença de um desvio de canal especificamente na ponte de Lionde.

Na secção transversal de Marrambajane, notou-se que a margem esquerda da secção esta muito irregular, fugindo da forma inicial, isso deve se ao facto da secção sofrer muito assoreamento, devido a ausência de limpeza no local, este factor influencia no desgaste das taludes, podendo culminar em maior transporte e depósito de sedimentos.

Com base nestes dados pode se concluir que nas secções ocorre variações de cotas e que o canal apresenta secções com formas irregulares, ou seja, o canal apresentou secções transversais com formas variadas no seu percurso.

A variação das cotas muitas vezes devem se a mudanças das condições do próprio terreno, ao assoreamento do próprio canal, desabamento das taludes, erosão, existência de travessias elevadas ou passagem de veículos no canal, entretanto alguns desses aspectos foram os mais observados nos diferentes sectores do canal (Sul, Rio e Montante), e estas alterações influenciaram na estimativa do comportamento médio da velocidade e da vazão. Resultados semelhantes verificaram-se também no projecto da Nogueira, (2010) cuja hidrodinâmica e morfologia do local em estudo apresentava variações devido a erosão e assoreamento.

Na Figura 9 (de a ate i), apresentam-se as secções transversais do canal:



4.2. Distribuição dos sedimentos suspensos

A distribuição de sedimentos suspensos é representada na Figura 11 a seguir as concentrações médias são de 515.833mg/L, 320.370mg/L, 355.093mg/L para a Tomada, o Nó e Fipag; 405.463mg/L, 323.889mg/L, 352.963mg/L, para Lionde, Massavasse e Conhane; 360.185mg/L, 301.759mg/L e 298.704mg/L para Nico, Muianga e Marrambajane, respectivamente.

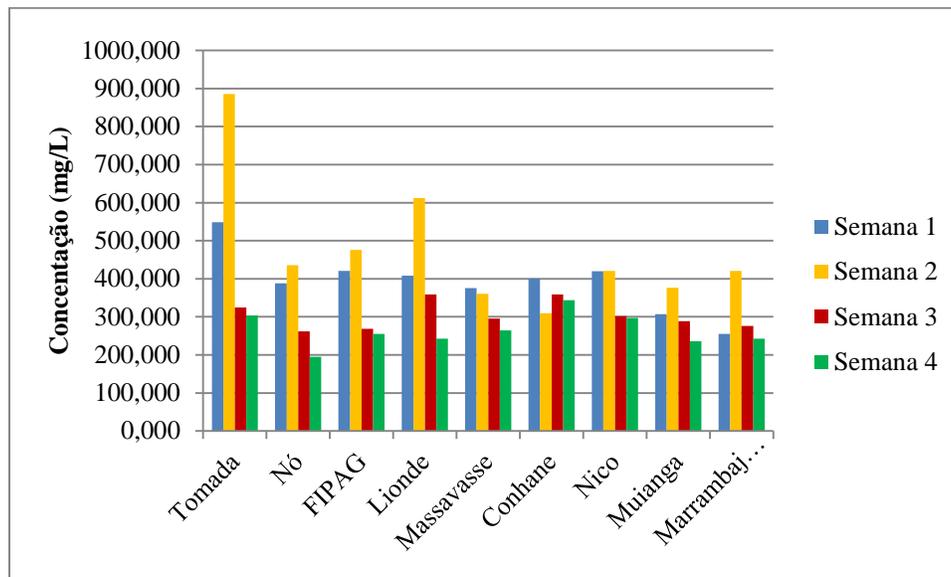


Figura 10. Distribuição da concentração de sedimentos suspensos no canal principal do sistema de regadio de Chókwè.

Na quarta semana observou-se baixa produção de sedimentos, constatando-se que a menor CSS ocorreu no Nó do canal, com um valor de 195.185ppm. Na segunda semana verificou-se a maior CSS, que ocorreu na Tomada, com um valor de 885.926 ppm, isso deu-se por causa da ocorrência de chuvas. Essa variação crescente da produção de sedimentos também foi avaliada por Souza (2011) no estudo referente à produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Piranhas. De acordo com Carvalho (2008), de 70 a 90% do material transportado nos cursos de água está directamente relacionado à quantidade de precipitações e ocorrem principalmente durante o período de chuvas fortes, assume-se assim que este é factor que causou as maiores concentrações observadas na 2ª semana de amostragem.

4.3. Correlação entre a concentração e outros factores

A correlação foi estudada por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados se apresentam na matriz abaixo, onde cada valor é representativo da interacção entre o item da respectiva coluna e linha. Valores próximos a 1 sugerem uma alta correlação directa entre os factores, e valores próximos a -1 sugerem que os factores são altos e inversamente correlacionados. Observou-se uma maior correlação entre o caudal e a descarga sólida e menor entre a velocidade e a velocidade e a concentração de sedimentos suspensos.

	<i>CSS</i>	<i>Velocidade</i>	<i>Caudal</i>	<i>QSS</i>	<i>Turbidez</i>
CSS	1.000				
Velocidade	-0.141	1.000			
Caudal	0.221	0.498	1.000		
QSS	0.641	0.318	0.861	1.000	
Turbidez	0.828	-0.203	0.114	0.427	1.000

Tabela 2. Correlação entre a concentração e outros factores

Na figura 12 está representada a relação entre o caudal, a concentração de sedimentos suspensos e a velocidade nas diferentes secções do canal principal, no período correspondente a colecta de dados.

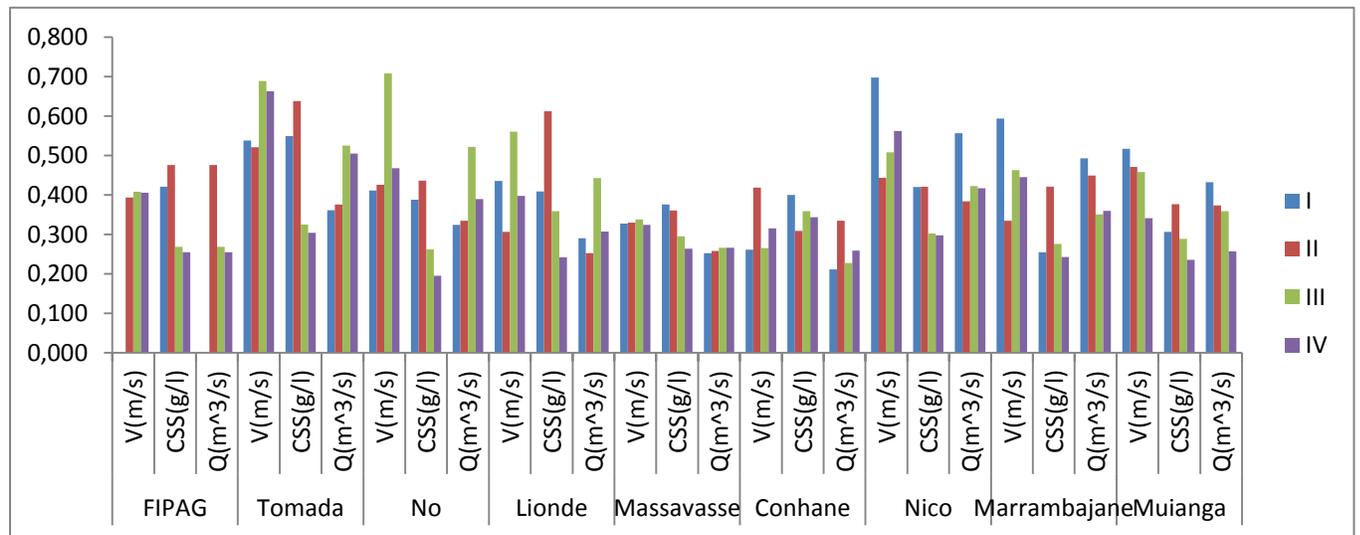


Figura 11: Relação entre a velocidade, CSS e vazão.

Os resultados corroboram com os encontrados por Osman (2015) que demonstraram que a descarga sólida é fortemente influenciada concentração de sedimentos, em seu estudo, a turbidez não foi incluída. Para (Cliford, RichardS, Brown, & Lane, 1995) altos valores de CSS ocasionam maior variação da turbidez em comparação com menores concentrações, facto também verificado no período em estudo, representado por uma correlação positiva muito forte ($\rho=0.828$). Verificou-se também que em locais com maior descarga sólida em suspensão houve maior CSS, o que se traduz na forte correlação ($\rho=0.641$), resultados semelhantes observaram se por (Marcelino, 2009) que afirmou que a CSS representa a maior quantidade de carga sólida do curso de água, podendo corresponder até 99% de toda carga sólida. Houve uma fraca correlação negativa entre a CSS e a velocidade ($\rho=-0.141$), a diferença de comportamento entre estes, demonstra que a carga em suspensão é proveniente da erosão, que varia conforme a velocidade de fluxo (Rocha, Souza Filho, & Fernandez, 1999).

4.4.Simulação do Transporte de sedimentos

4.4.1. Validação do modelo

Usando a função de transporte de sedimentos (*Laursen-Copeland e Yang*) no HEC-RAS, fez-se a simulação do transporte de sedimento em função do tempo e observou-se na primeira semana, num período de 4 meses as secções Tomada, Nó, FIPAG, Massavasse, Conhane, Muianga e Nico, apresentaram uma concentração média constante de 0mg/l, entretanto nas secções Lionde e Marrambajane verificou-se uma concentração média de sedimentos igual a 8.610 e 10.055 mg/l, respectivamente, pela equação de *Laursen-Copeland*. Porém nas secções Tomada, Nó, FIPAG, Massavasse, Conhane, Muianga, Nico, Lionde e Marrambajane ocorreu transporte de sedimentos cuja sua concentração média variava de (4.722, 0.278, 0.225, 9.895, 40.677, 110.8995, 2.635, 7.255 e 8.402 ppm, respectivamente, pela equação de *Yang*.

Efectuada a simulação de transporte de sedimentos para a segunda semana considerando as mesmas funções de transporte, observou-se que a concentração média de sedimentos nas secções Tomada, Nó, FIPAG e Conhane foi de 0mg/l, e para as secções Massavasse, Lionde, Nico e Marrambajane foi de 3.017, 0.169, 0.009, 0.061 e 1.061 ppm, respectivamente, pela função de

transporte de *Laursen Copeland*, respectivamente, no entanto segundo a função de transporte *Yang*, todas as secções transversais do canal apresentaram uma média de concentração de sedimento maior que 0mg/l, por sua vez na terceira semana, observou-se que todas as secções transversais apresentaram concentração de sedimentos maior que 0mg/l, onde a concentração média de sedimento variou de 0.246 a 3.679 ppm.

Por fim, na quarta semana também observou-se que a concentração de sedimentos em todas funções de transporte e em todas secções transversais foi superior a 0mg/l, tendo sido obtida a igual média de concentração de sedimentos em Muianga e Nico (40.7545) ppm na simulação segundo *Laursen Copeland*.

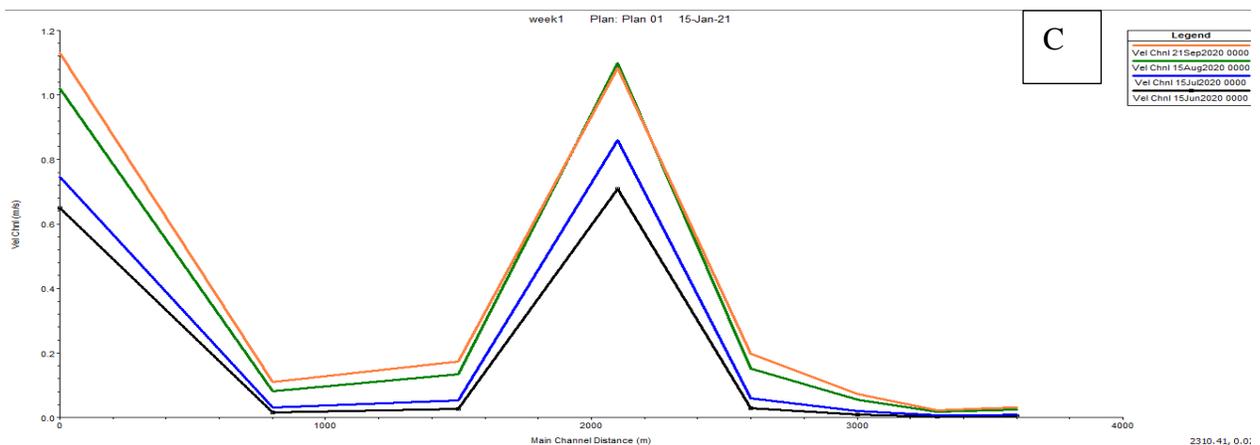
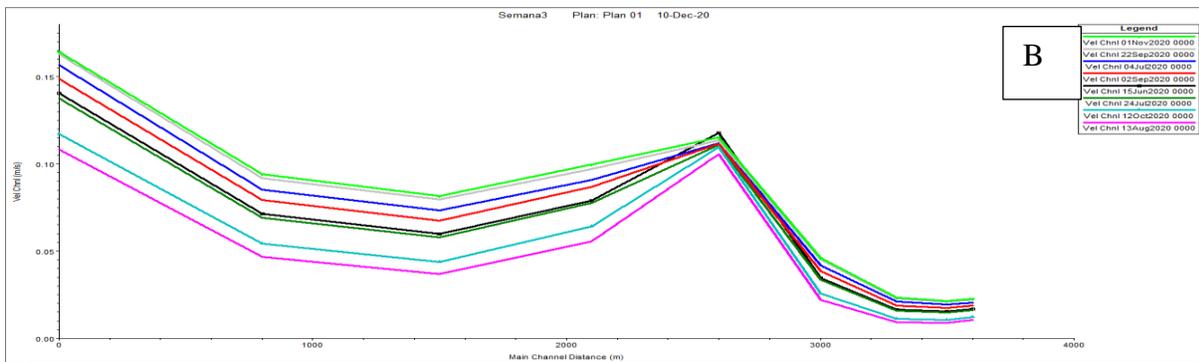
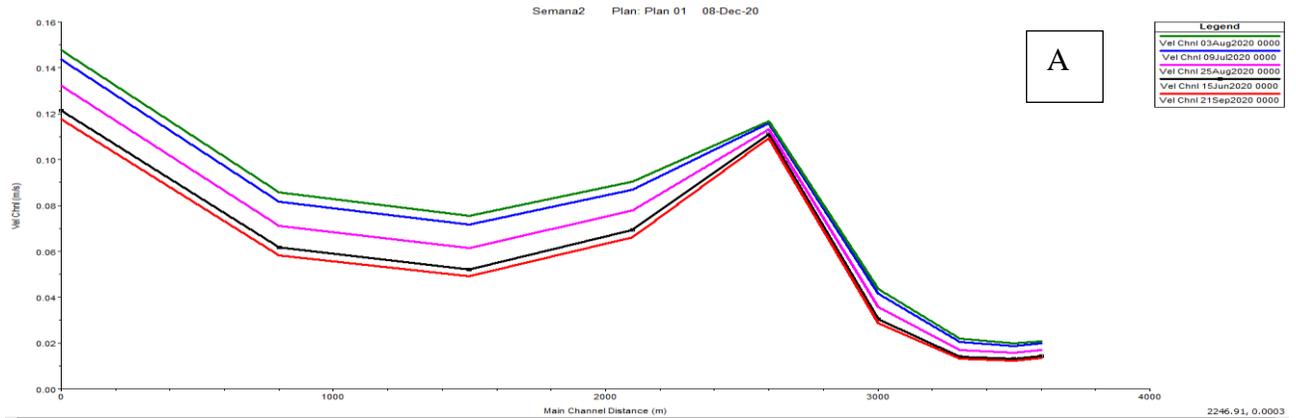
Apresentados os resultados das simulações segundo *Laursen Copeland* e *Yang*, pôde observar-se que estas funções apresentam resultados de concentração de sedimento diferentes, este factor deve-se ao facto destas funções desempenharem papéis opostos, visto que a função de transporte de sedimentos de *Laursen* é para rios rasos com areia fina ou silte mais grosso enquanto a fórmula de *Yang* simula a concentração de sedimentos em duas vertentes (areia e pedregulhos) (Cortez, 2013).

As figuras no Apêndice 1, ilustram a simulação de transporte de sedimentos, avaliando a concentração de sedimentos em função do tempo, os dados simulados foram obtidos em 4 semanas em diferentes secções do canal do sistema de regadio de Chókwè, usando funções de transporte de sedimentos *Laursen Copeland* e *Yang*.

4.4.2. Modelação a velocidade de sedimentação

Após feita a modelagem da velocidade de sedimentação das partículas averiguou-se que na primeira semana houve variação de velocidade de sedimentação de Junho a Setembro, apresentando máxima velocidade de sedimentação de 0.708m/s e a mínima velocidade de sedimentação de 0.003m/s. Na segunda semana a velocidade mínima de sedimentação foi de 0.011m/s, apresentando uma máxima de 0.131m/s. Na terceira semana observou-se que a

velocidade de sedimentação mostrou-se variável, sendo a velocidade máxima de 0.118m/s e a mínima foi de 0.053m/s. E por fim na quarta semana, assim como na terceira semana, observou-se uma variação da velocidade de sedimentação máxima igual a 0.112m/s e uma mínima igual a 0.011m/s.



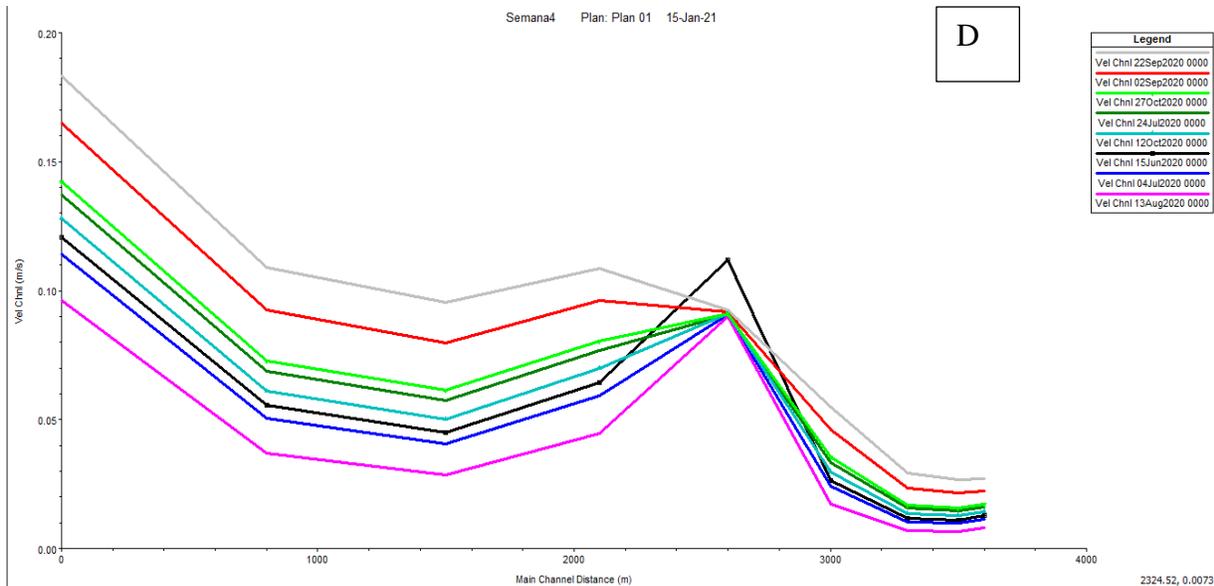


Figura 12. Gráfico de variação de velocidade total em todas secções de sistema de Regadio de Chòkwé na Primeira semana (A), Segunda semana (B), Terceira semana (C) e Quarta semana (D).

Houve variação de velocidade de queda de sedimentos em cada estação Tomada, Nó, FIPAG, Conhane, Massavasse, Lionde, Muianga, Nico e Marrambajane, Segundo Yang (1974) e *Laursen-Copeland* (1988,1989) cada estação apresentou em quatro semanas uma média velocidade de Queda igual a (1.66E-02, 1.52E-02, 1.53E-02, 3.55E-02, 1.04E-01, 0.271, 0.068531, 6.77E-02) e (1.64E-02, 1.51E-02, 1.52E-02, 3.50E-02, 9.73E-02, 0.296, 0.071, 6.80E-02 e 0.175) respectivamente. A maior média de velocidade de queda observou se na modelagem da velocidade de queda segundo Laursen Copeland (0.175) e a menor foi segundo Yang (2.71E-01) nas estações Marrambajane e Lionde respectivamente.

5. Conclusão

Caracterização da batimetria do canal

Através dos resultados obtidos da batimetria do canal pode-se concluir que os dados obtidos em 2001 são mais assentados em relação aos dados de 2016, visto que, os dados de 2001 foram obtidos após a reabilitação do canal.

Caracterização da distribuição de partículas dos sedimentos suspensos;

Pode-se concluir que maiores CSS foram observadas em épocas chuvosas e estas resultam em maior turbidez e maior carga sólida em suspensão.

Simulação do processo de transporte de sedimentos no canal usando HEC-RAS

O modelo desenvolvido em HEC-RAS, o software revelou-se eficaz para simular o transporte de sedimentos, porém há diferença de transporte de sedimentos segundo Laursen Copeland e Yang, visto que estes simulam situações com tamanho de partículas diferentes.

Modelar a velocidade de sedimentação das partículas em diferentes profundidades do canal

A função Laursen-Copeland e Yang para o modelo desenvolvido, fornece maior velocidade de transporte de sedimentos em épocas chuvosas.

Duma forma geral pode concluir-se que a sedimentação influencia negativamente na batimetria do canal, causa assoreamento do canal, altera a sua geometria, gera turbidez da água, e reduz o volume do canal.

6. Bibliografia

- Abbas, M. (2018). Chòkwé: Efeitos locais de políticas instáveis, erráticas e contraditórias. .
- ABPmer a marine consultancy and survey company. (2008). *Sediment Transport Modelling*.
- Arantes, E. J. (2006). Sedimentos e hidrologia Transporte de sedimentos em rios e canais.
- Barbosa, G. L. (2017). Análises dos modelos empíricos para o cálculo de transporte de sedimentos em condições de fluxo unidirecional.
- Carvalho, O. N. (2008). *Hidrossedimentologia Prática* (2 Edição Revisada e Ampliada ed.). Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Cliford, N., RichardS, K., Brown, R., & Lane, S. (1995). *Laboratory and field assessment of an infrared turbidity probe*. Hydrological Sciences Journal.
- Cortez, J. R. (2013). *Desempenho de Modelos Numéricos em Estudos de Assoreamento do Reservatórios- Caso Uhe Aimorés*. Belo Horizonte: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - 2013/ ISSN 2318-0358.
- Dalpiaz, D. (2014). *Simulação Numérica de Transporte de depósito de sedimentos em suspensão em canal inclinado - Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais*. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- Fernandez, P., Mourato, S., & Moreira, M. (s.d.). Comparação dos Modelos Hec-Ras e LISFLOOD-FP na delimitação de zonas inundáveis. 34, pp. 63-73.
- Gagg, G. (2016). *levantamentos Hidrográficos- Noções gerais*. Rio Grande do Sul: UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Kelniar, A. R. (2014). *Estudo da Descarga de Sedimentos Transportados em três rios na Bacia Hidrográfica do rio Mourão*. Campo Mourão.
- LOPES, M. A. (2012). *Reconstituição da rotura da barragem das minas da Fonte Santa: análise do transporte sólido no vale a jusante*. Lisboa.
- Marcelino, L. (2009). *Transporte de Sedimentos em Suspensão em Santa Catarina*.
- Nogueira, R. d. (2010). *Caracterização Batimétrica do Mar de Ararapira, na divisa litorânea dos Estados do Paraná e São Paulo*. Pontal do Paraná.
- Nordin, C. F., & McQuivey, R. S. (1971). *Suspended load*. River Mechanics Institute, Colorado State University.
- Paiva, F. M. (2011). Análise de transporte de sedimentos em suspensão num pequeno curso ce agua na bacia experimental de riacho gameleira.

- Peixoto, R. d. (2019). *Estudo do Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão*. Uberlândia: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- PTR, 2. (2013). *Noções de Batimetria*. Obtido de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/212203/mod_resource/content/1/aula%2016%20PTR2201%20-%20No%C3%A7oes%20de%20Batimetria%20v2013.pdf
- Ricker, M. C., Odhiambo, B. k., & Church, J. M. (2008). *Spatial Analysis of Soil Erosion and Sediment Fluxes: A Paired Watershed Study of Two Rappahannock River Tributaries, Stafford County*. Virginia.
- Rocha, P. C., Souza Filho, E. E., & Fernandez, O. (1999). *Intensity of erosive processes at channel banks of up Parana River, Porto Rico Town area, Parana State, Brazil. International Symposium on Paleohydrology Geomorphology of Large Rivers and Field Conference*. Araguaia.
- Santos, I., Fill, H. D., Sugai, M. R., Buba, H., Kishi, R. T., Marone, E., et al. (2009). *Hidrometria Aplicada*. (Ambiência, Ed.) Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.
- Santos, K. A. (2015). *Utilização de Modelo Hidrodinâmico para Mapeamento de Áreas Inundáveis*. Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia.
- Sari, V. (2017). *Effect of particle size and suspended sediment concentration on turbidity*.
- SassettiMendes, L., Fernandes, J., & Viseu., M. T. (s.d.). *Módulos 2 e 3 Modelagem da Cheia de Ruptura Vale a Jusante*.
- Sedimentation, S. o. (1963). *Determination of fluvial sediment discharge*. Washington.
- Souza, W. d. (2011). *Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do rio Capibaribe para zona costeira da região metropolitana do Recife*. 136f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Stevens, H. H., & Yang, C. T. (1989). *Summary and use of selected fluvial sediment discharge formulas*. U.S. Geological Survey : Open-File Services Section, Western Distribution Branch.
- Vestena, L. R. (2007). *Avaliação da Concentração de Sedimento em Suspensão no Rio Caeté, em Alfredo Wagner/SC*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.
- Zimmermann, C. C. (2015). *Apostila de Topografia- revisada*. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura: Universidade Federal do Paraná.

1. Apêndices

Apêndice 1: Batimetria do fundo do canal para os anos 2001 e 2016

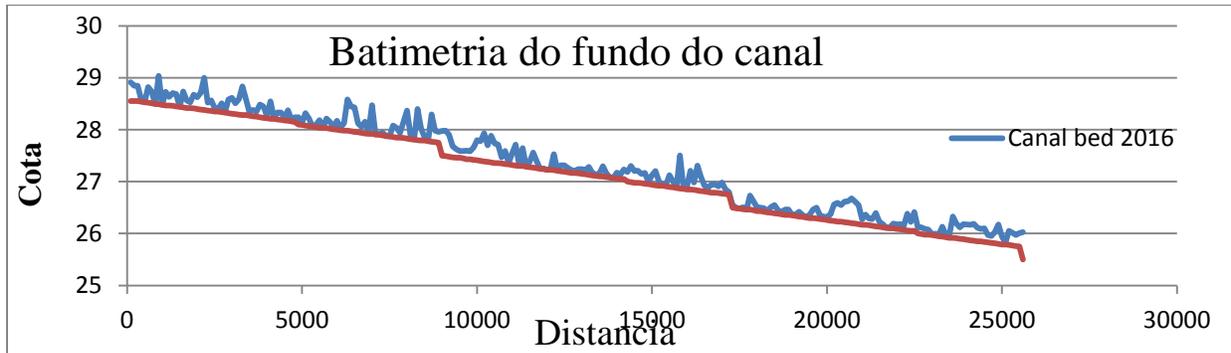


Figura 13. Batimetria do fundo do canal para os anos 2001 e 2016

Apêndice 2: Validação do modelo

1.1.1.1. Semana I

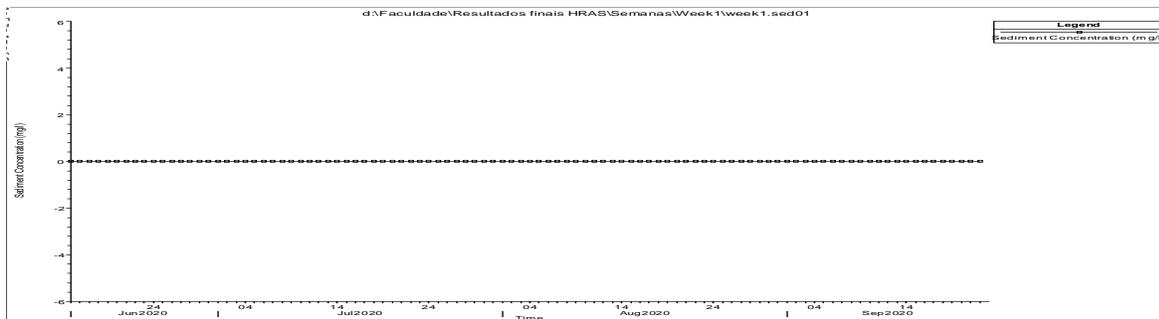


Figura 14: Concentração de sedimentos em função de tempo nas secções (Tomada, No, FIPAG, Massavasse, Conhane, Muianga e Nico) segundo (Laursen-Copeland)

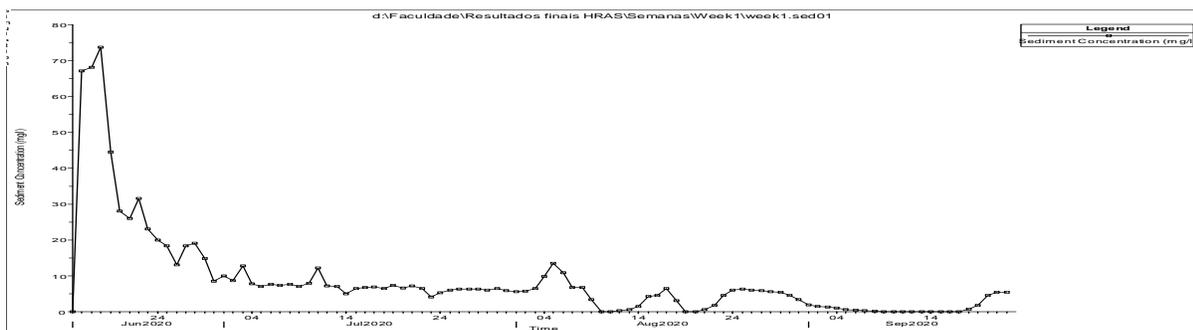


Figura 15: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Laursen-Copeland).

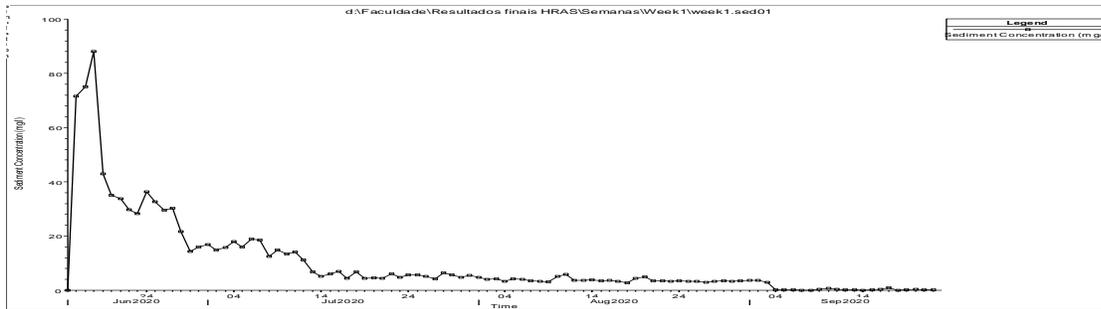


Figura 16: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen-Copeland).

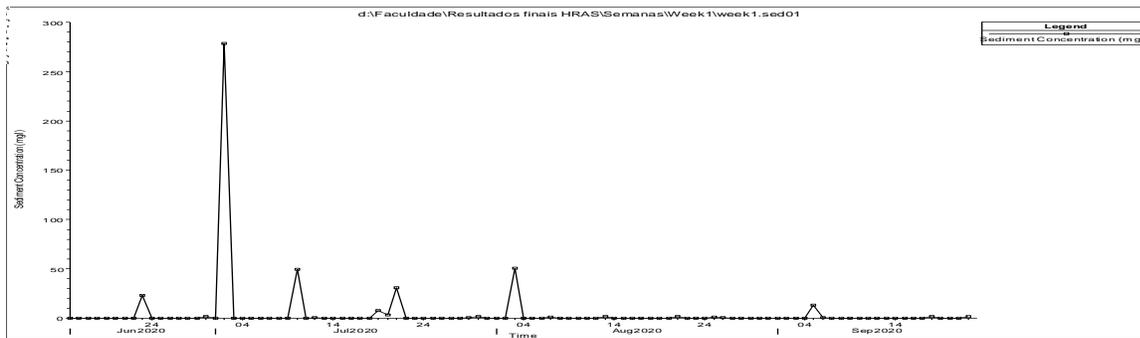


Figura 17: Concentração de sedimentos em função de tempo em Tomada, segundo (Yang).

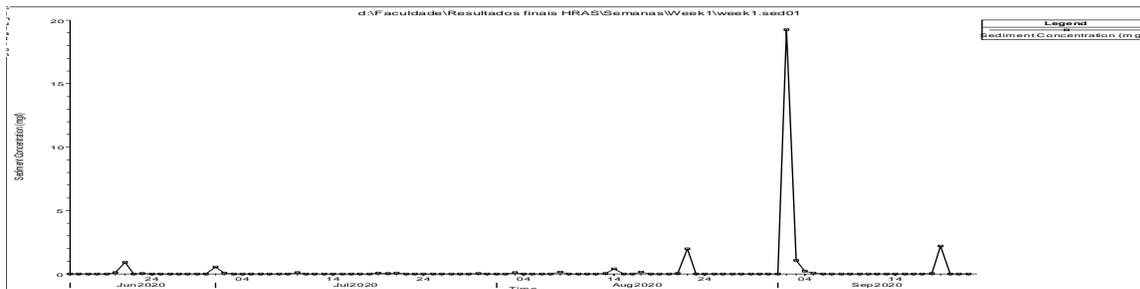


Figura 18: Concentração de sedimentos em função de tempo em No, segundo (Yang).

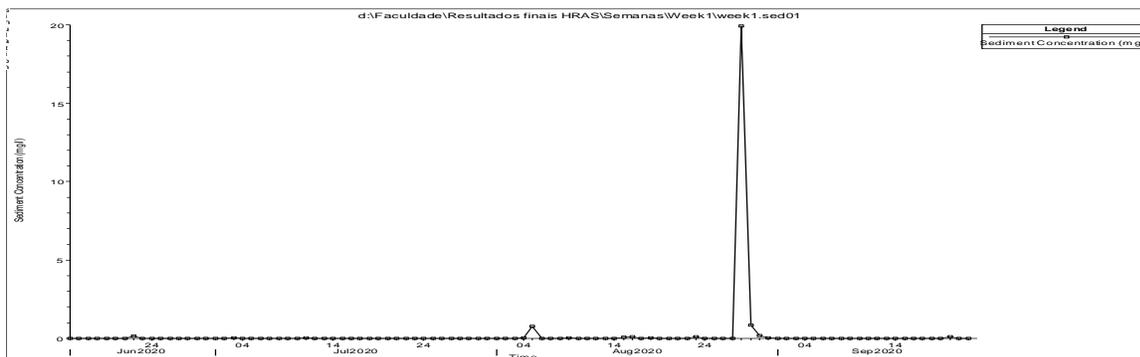


Figura 19: Concentração de sedimentos em função de tempo na FIPAG, segundo (Yang).

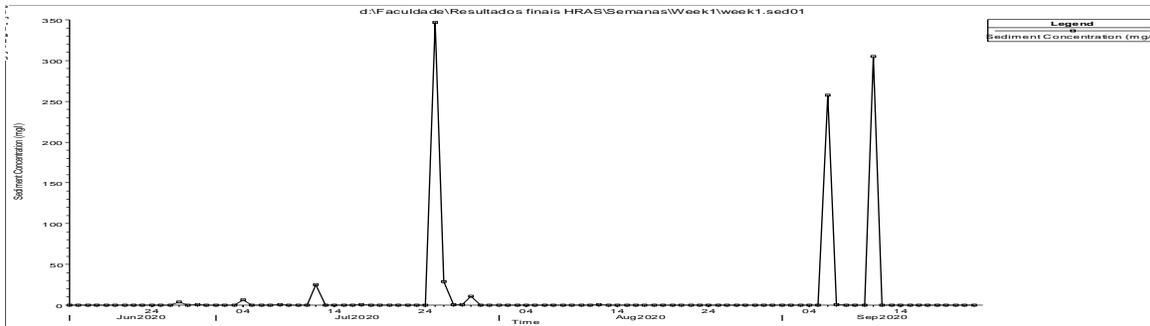


Figura 20: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Yang).

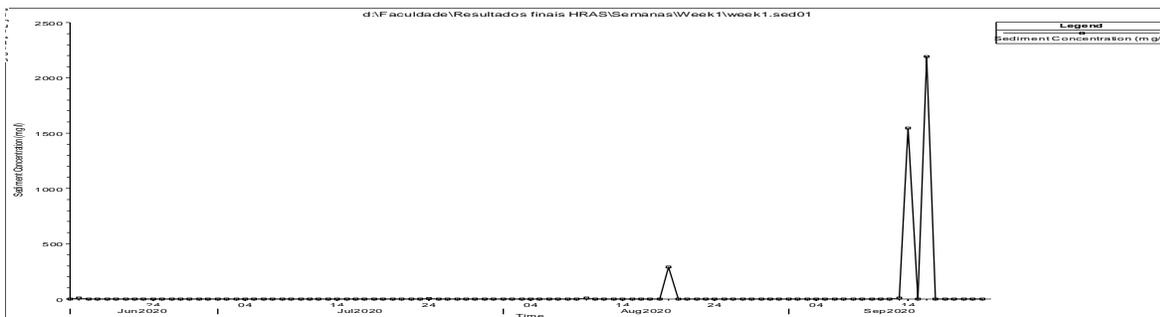


Figura 21: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang).

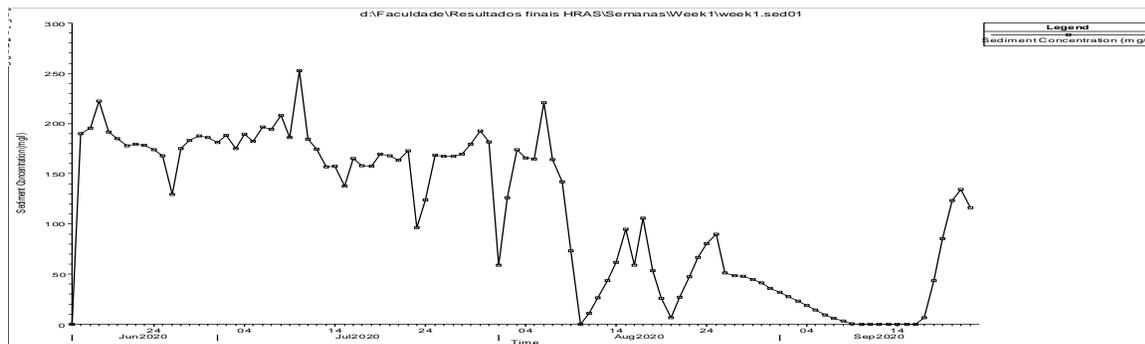


Figura 22: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang).

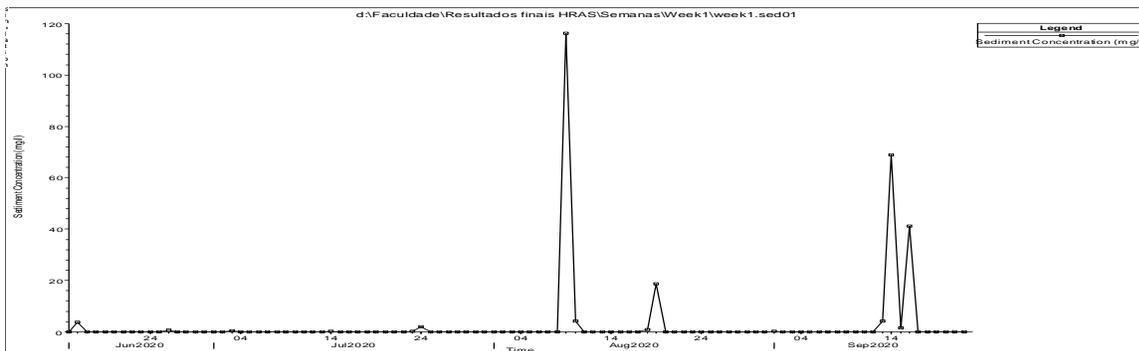


Figura 23: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang).

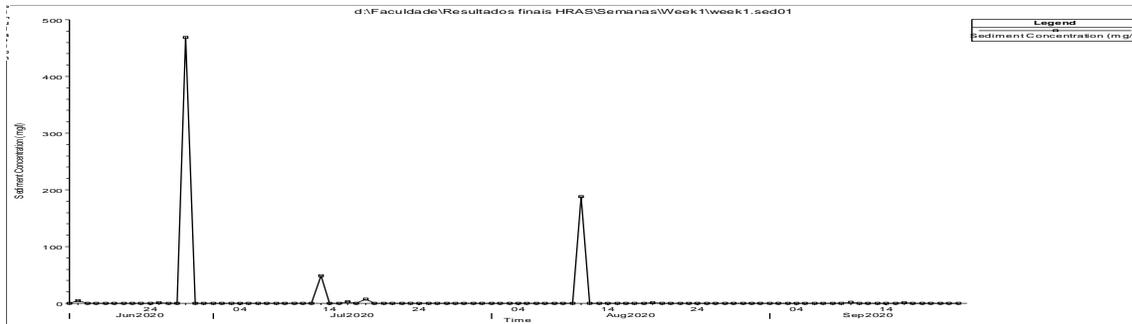


Figura 24: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Yang).

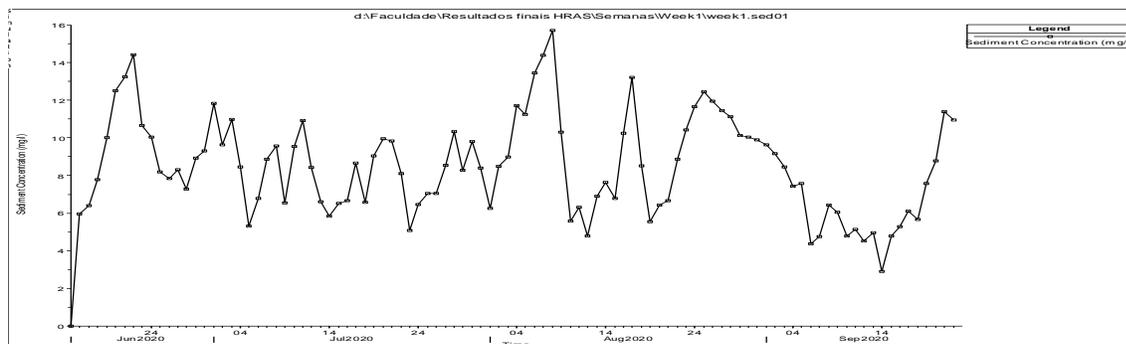


Figura 25: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang).

1.1.1.2. Semana II

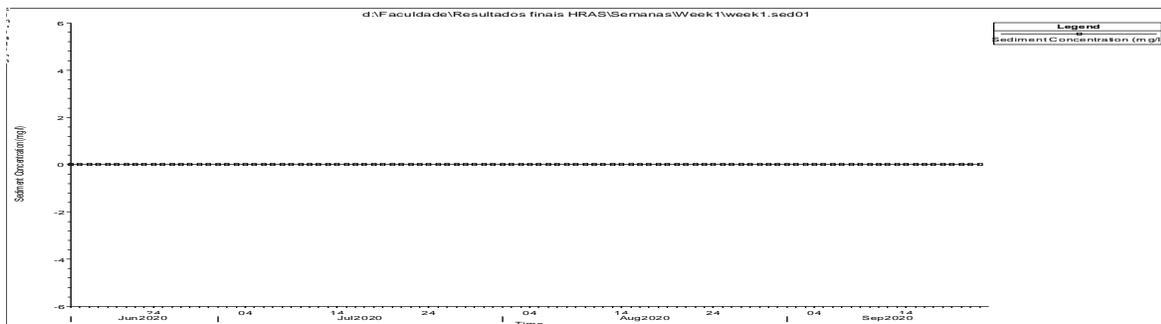


Figura 26: Concentração de sedimentos em função de tempo nas secções (Tomada, Nó, FIPAG e Conhane) segundo (Laursen-Copeland)

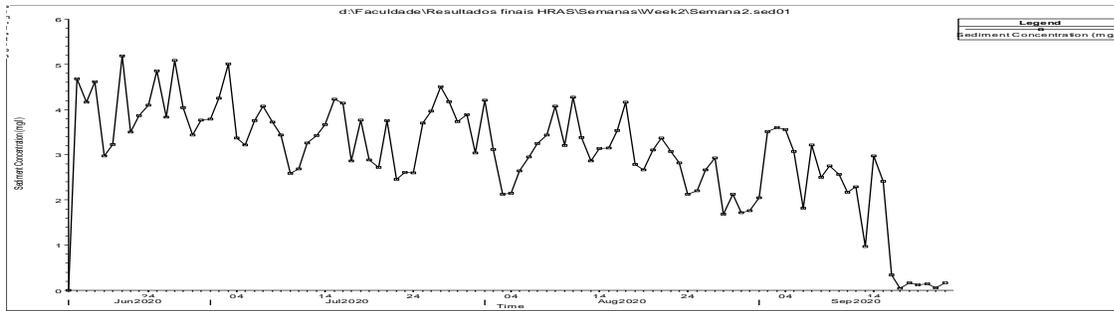


Figura 27: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Laursen-Copeland).

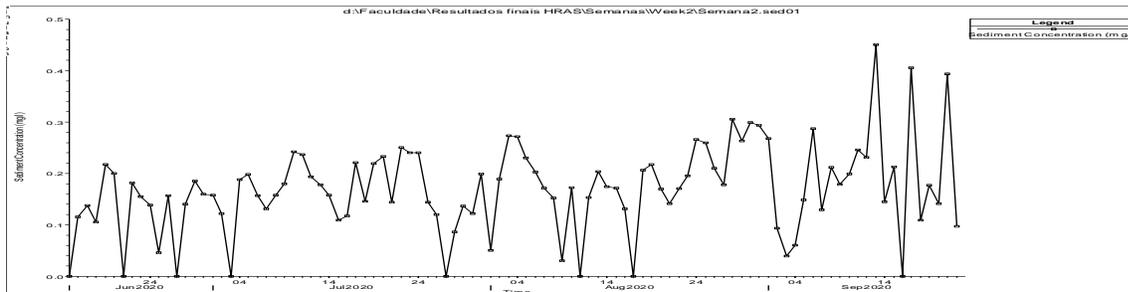


Figura 28: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Laursen-Copeland).

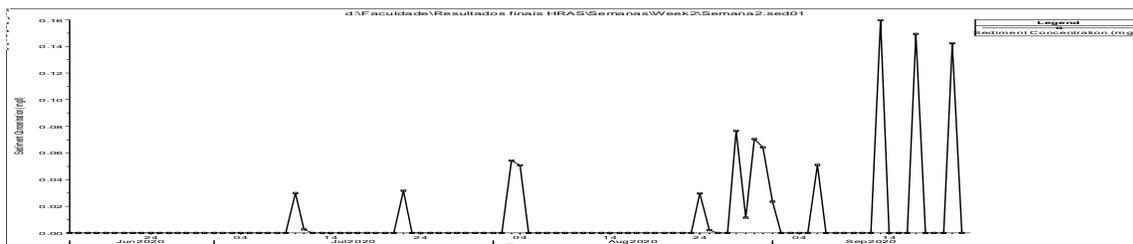


Figura 29: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Laursen-Copeland)

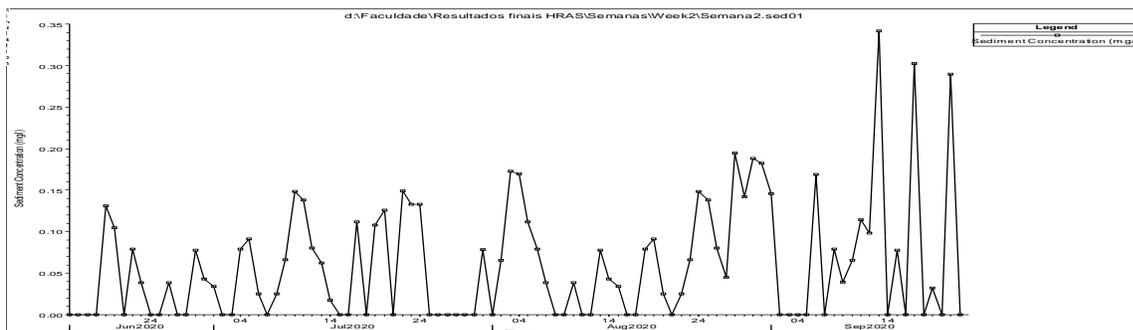


Figura 30: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nico, segundo (Laursen-Copeland).

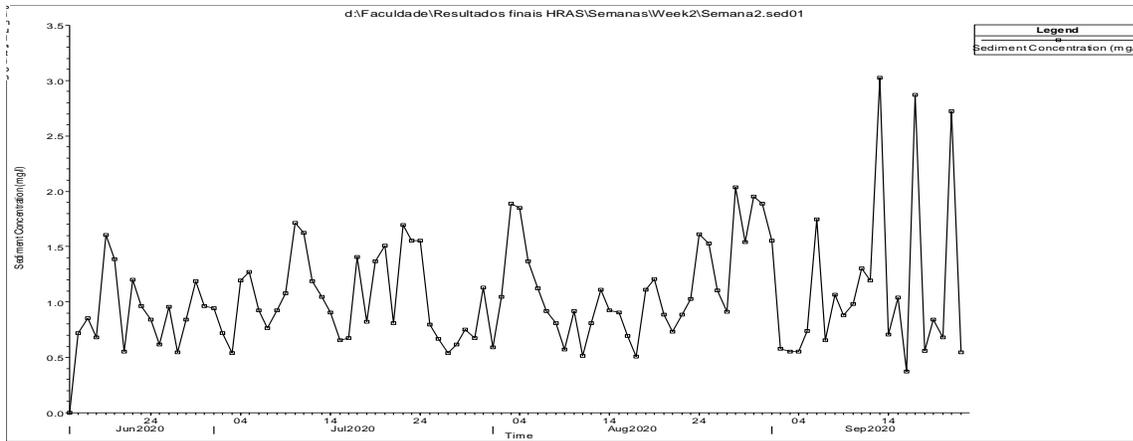


Figura 31: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen-Copeland).

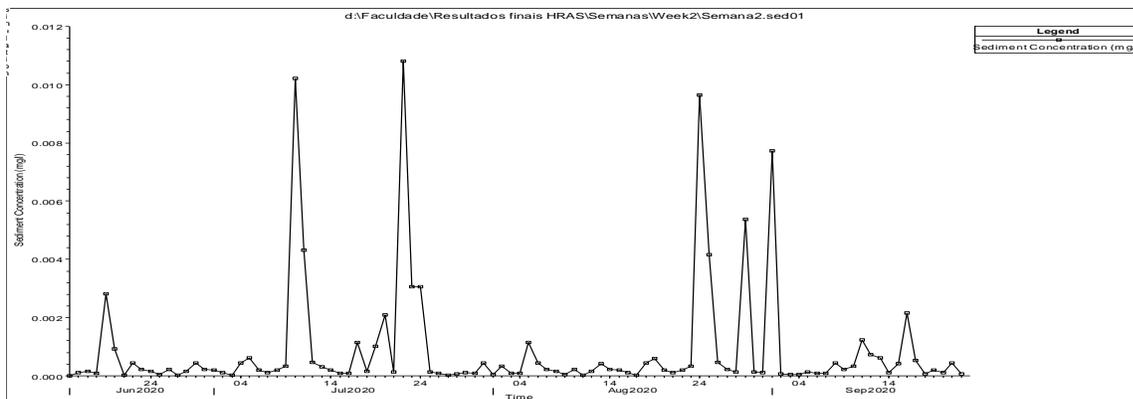


Figura 32: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Yang).

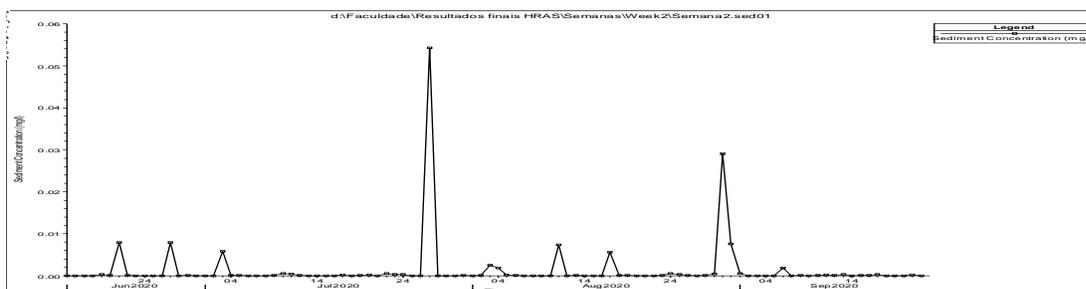


Figura 33: Concentração de sedimentos em função de tempo no N6, segundo (Yang).

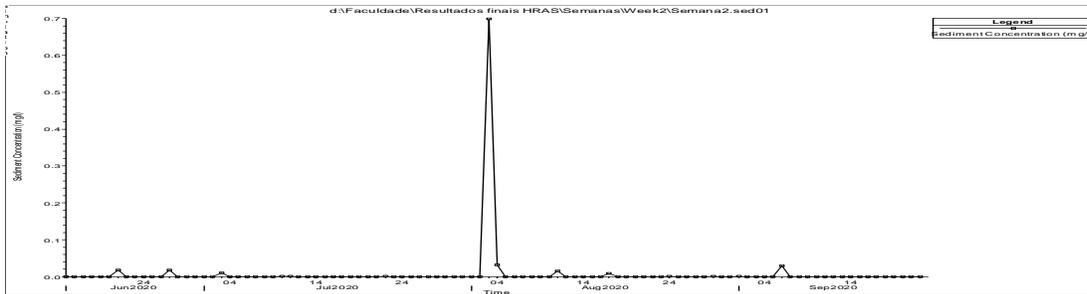


Figura 34: Concentração de sedimentos em função de tempo no FIPAG, segundo (Yang).

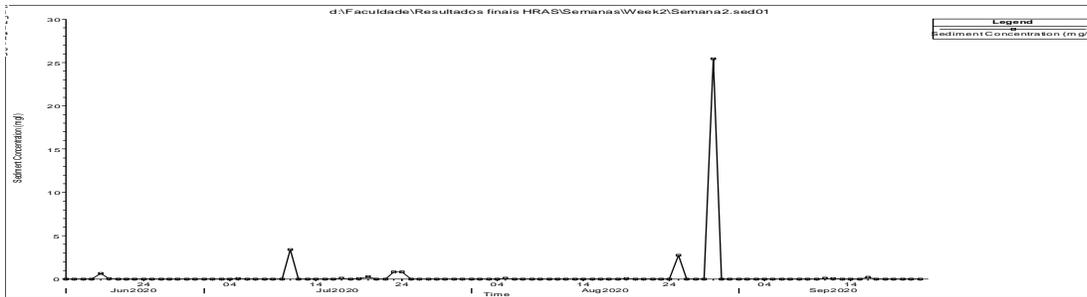


Figura 35: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang).

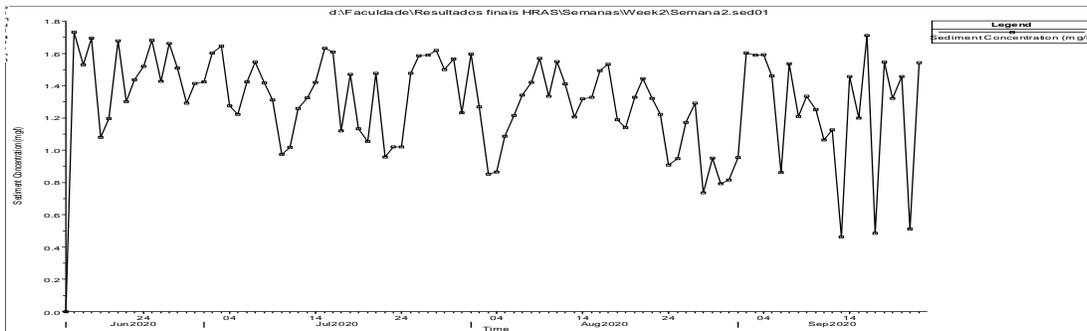


Figura 36: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Yang).

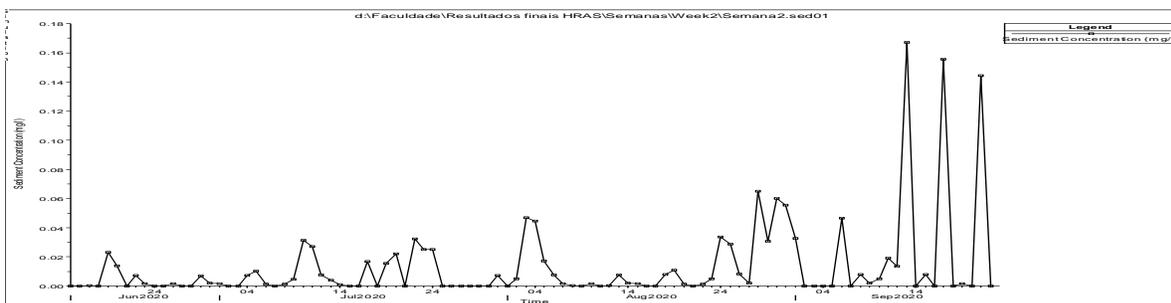


Figura 37: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang).

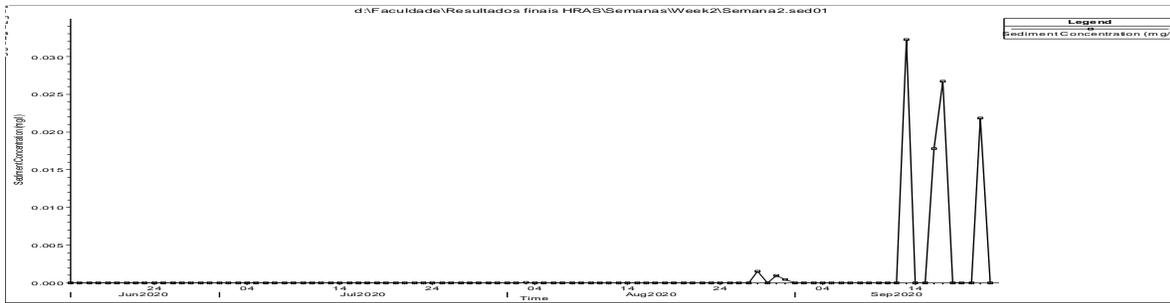


Figura 38: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang).

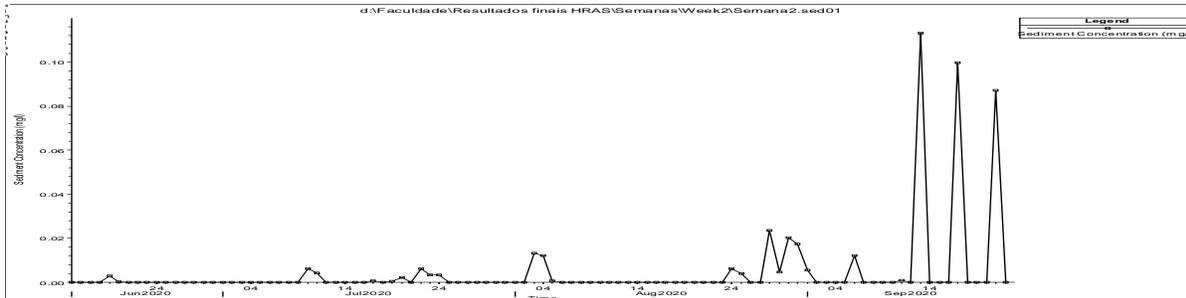


Figura 39: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nico, segundo (Yang)

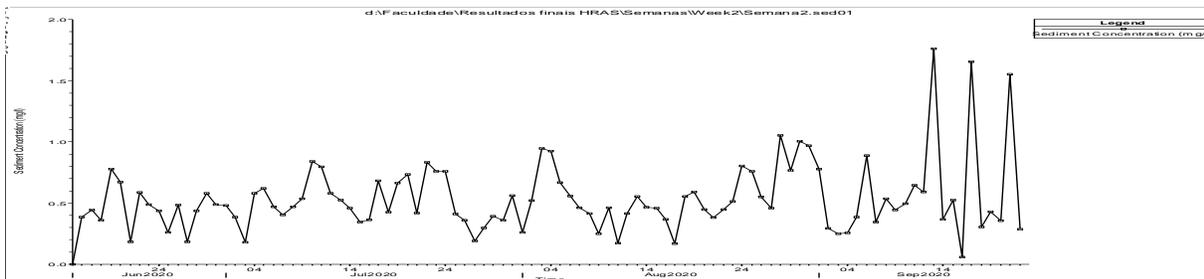


Figura 40: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang).

1.1.1.3. Semana III

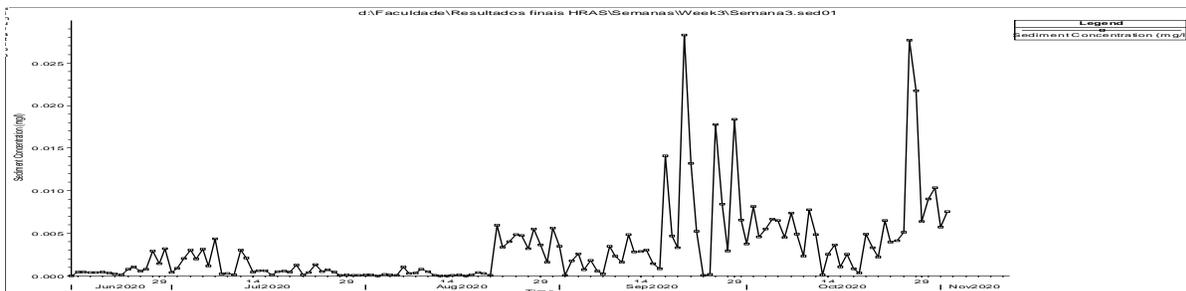


Figura 41: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Yang)

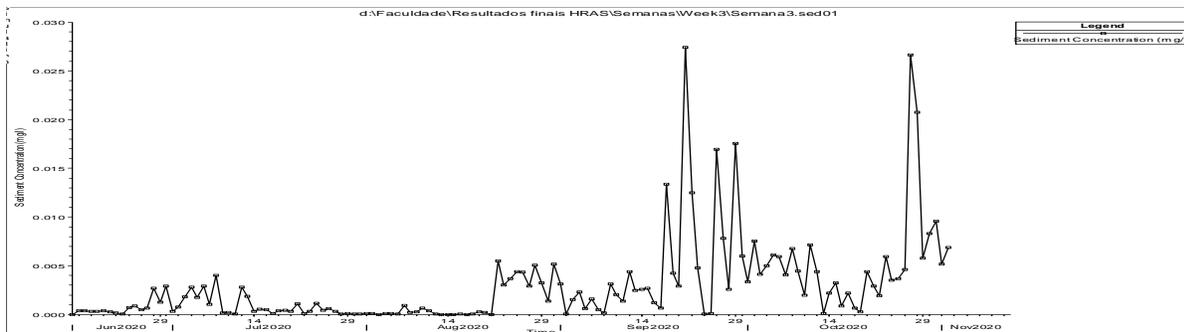


Figura 42: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nó, segundo (Yang)

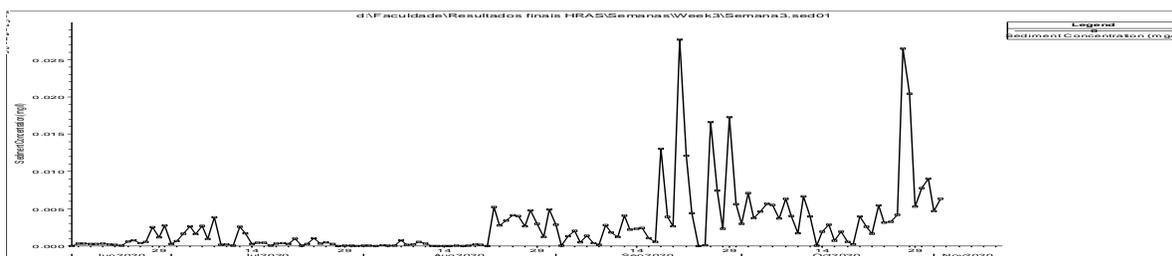


Figura 43: Concentração de sedimentos em função de tempo na FIPAG, segundo (Yang)

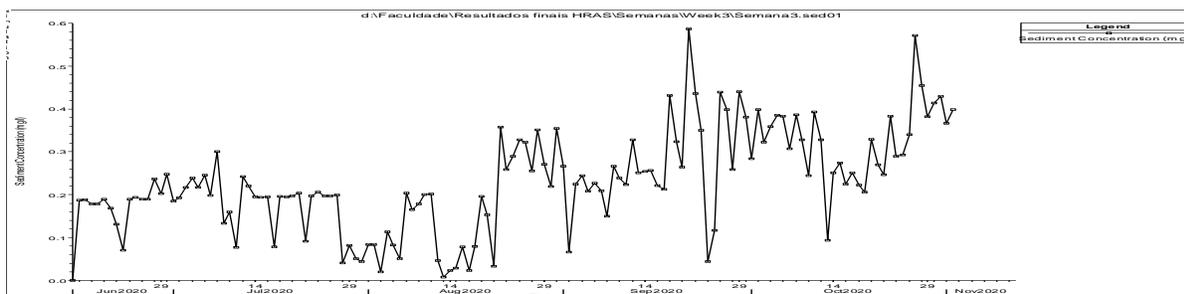


Figura 44: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang)

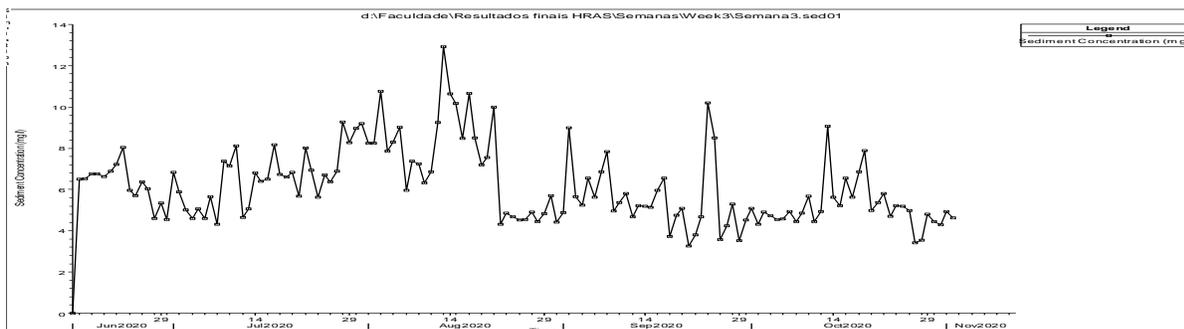


Figura 45: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Yang)

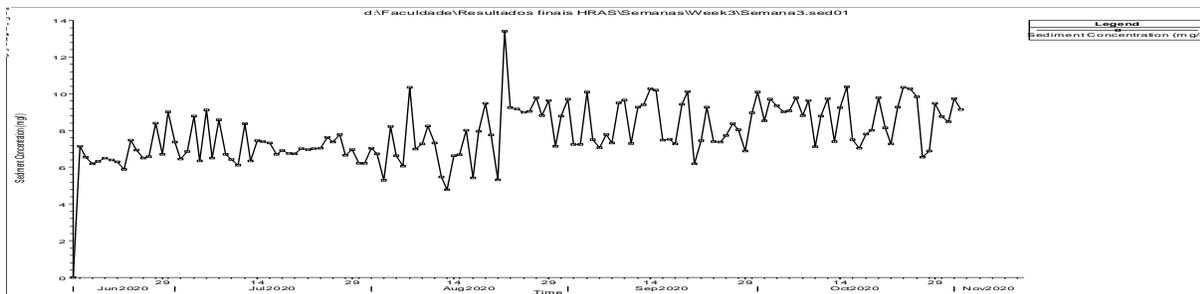


Figura 46: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang)

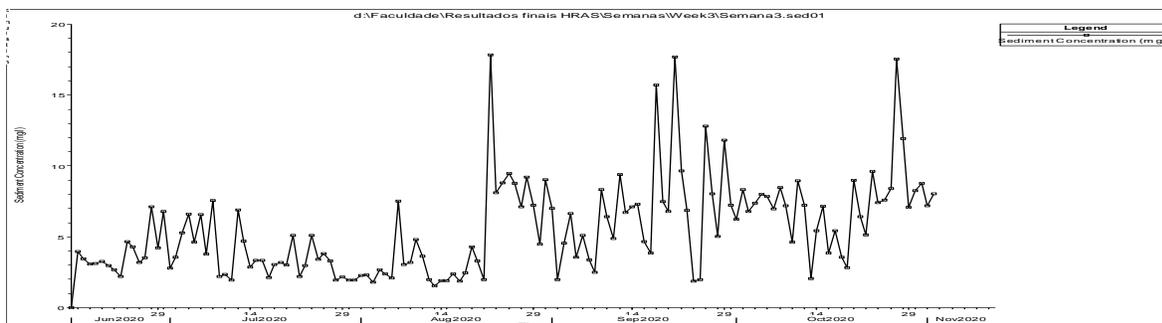


Figura 47: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang)

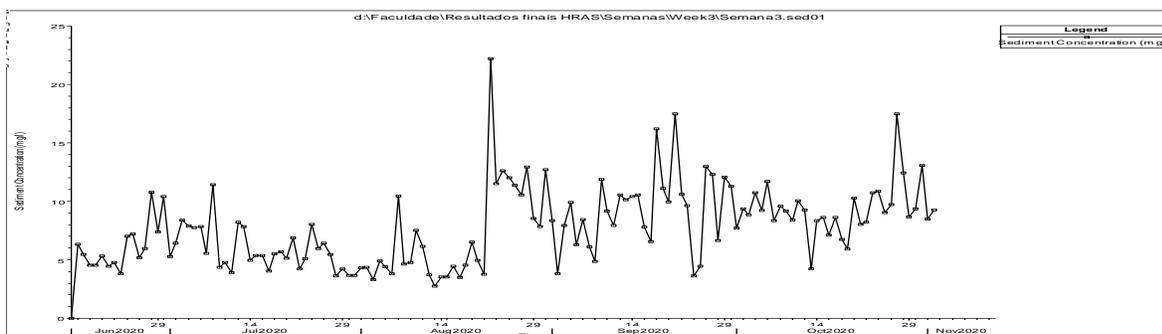


Figura 48: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Yang)

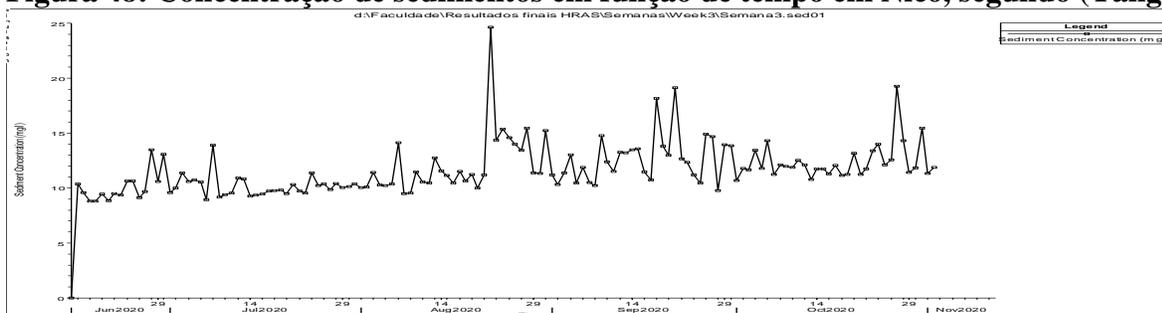


Figura 49: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang)

1.1.1.4. Semana IV

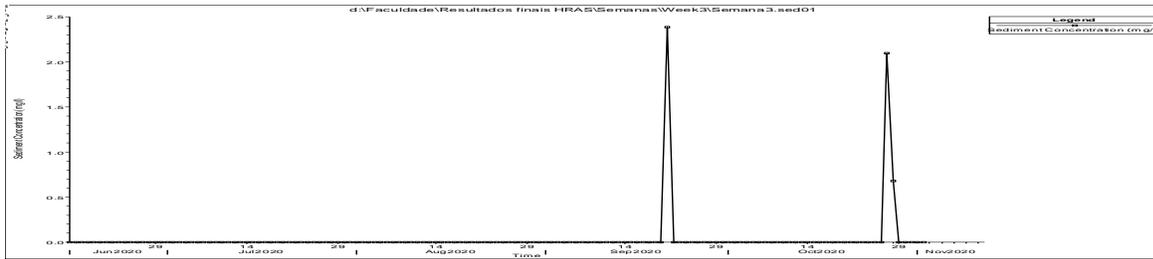


Figura 50: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Laursen Copeland)

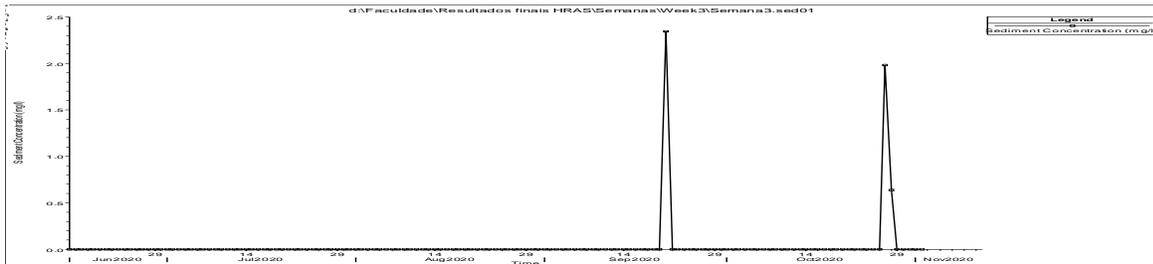


Figura 51: Concentração de sedimentos em função de tempo no N6, segundo (Laursen Copeland)

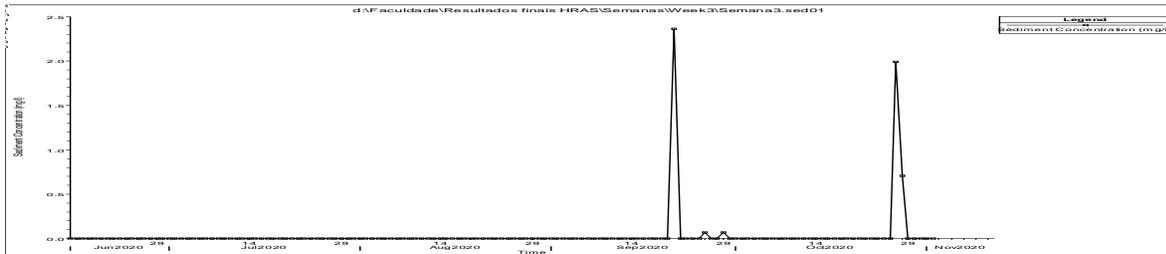


Figura 52: Concentração de sedimentos em função de tempo no FIPAG, segundo (Laursen Copeland)

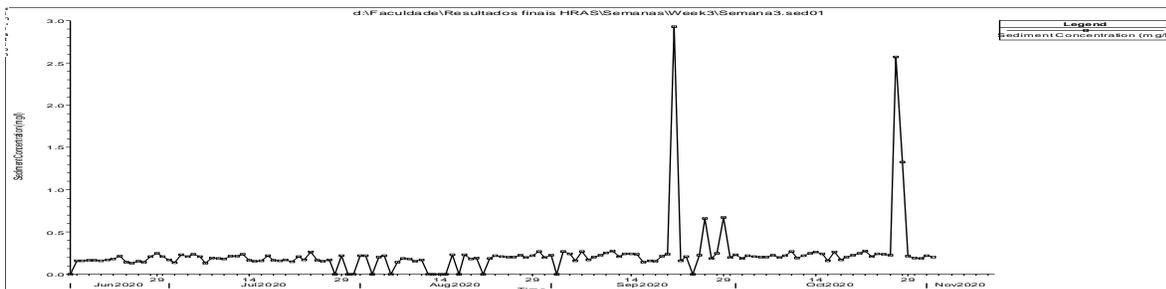


Figura 53: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Laursen Copeland)

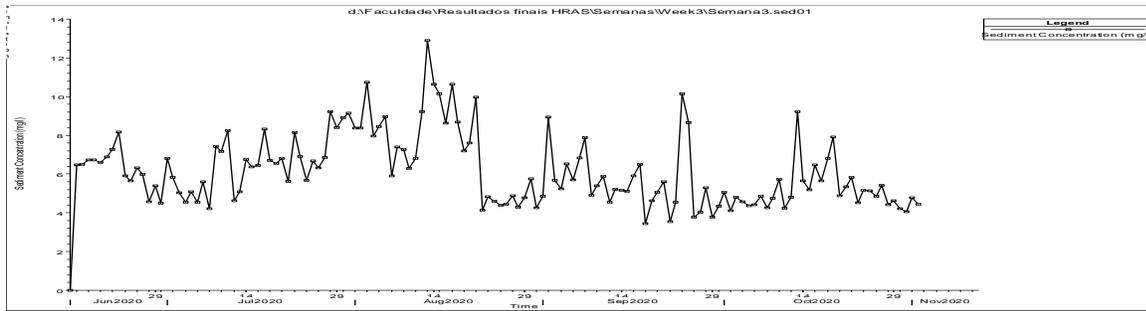


Figura 54: Concentração de sedimentos em função de tempo Massavasse, segundo (Laursen Copeland)

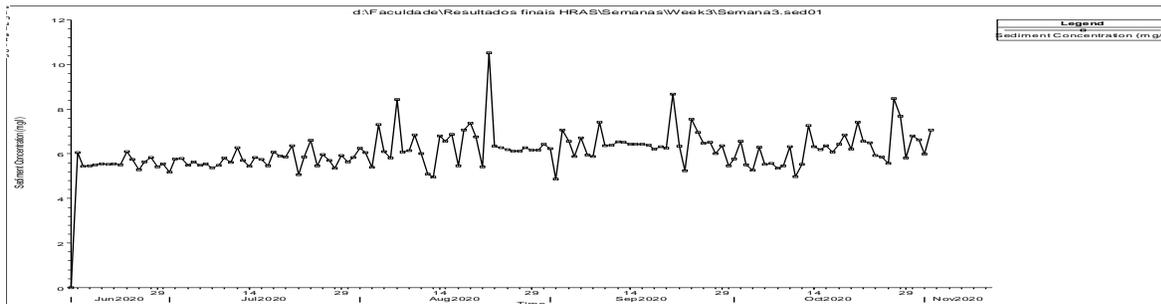


Figura 55: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Laursen Copeland)

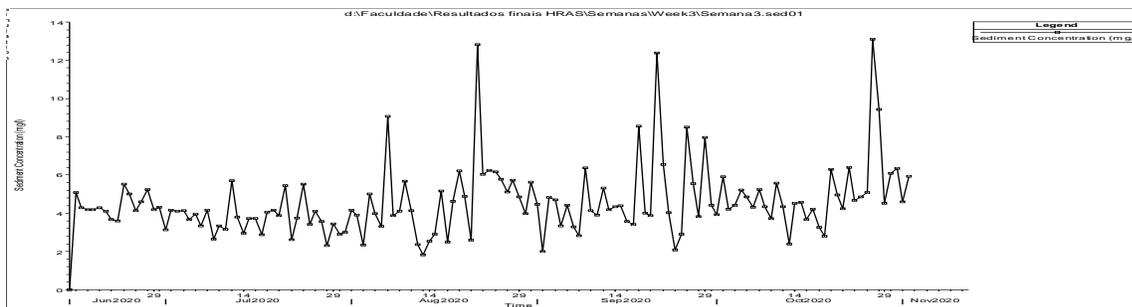


Figura 56: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Laursen Copeland)

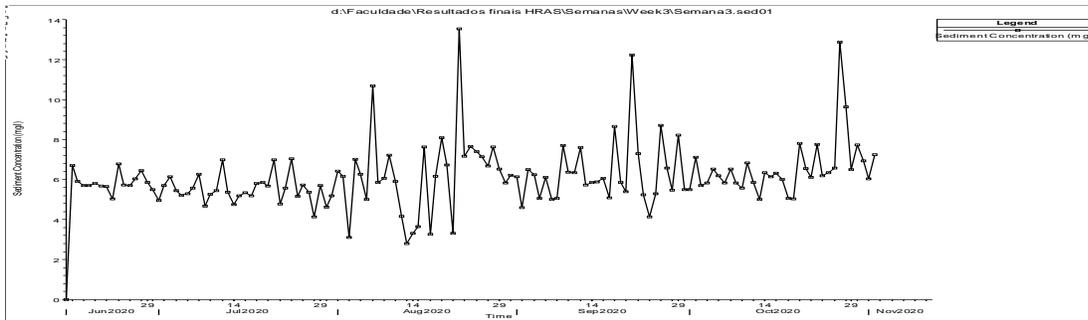


Figura 57: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Laursen Copeland)

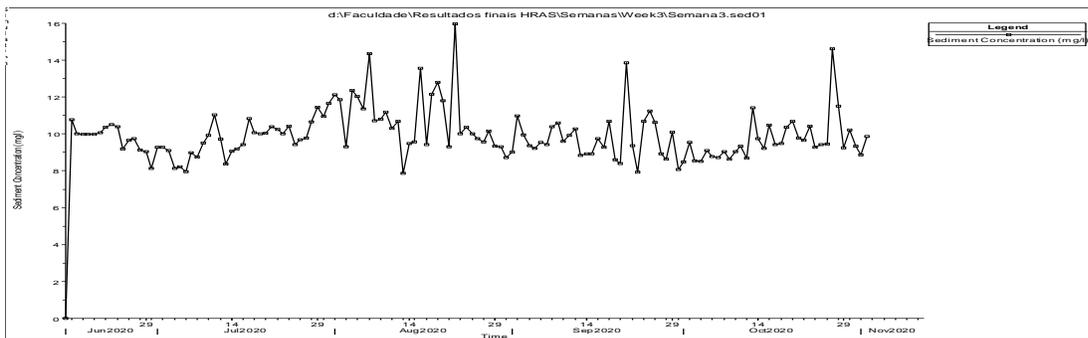


Figura 58: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen Copeland)

1.1.1.5. Semana IV

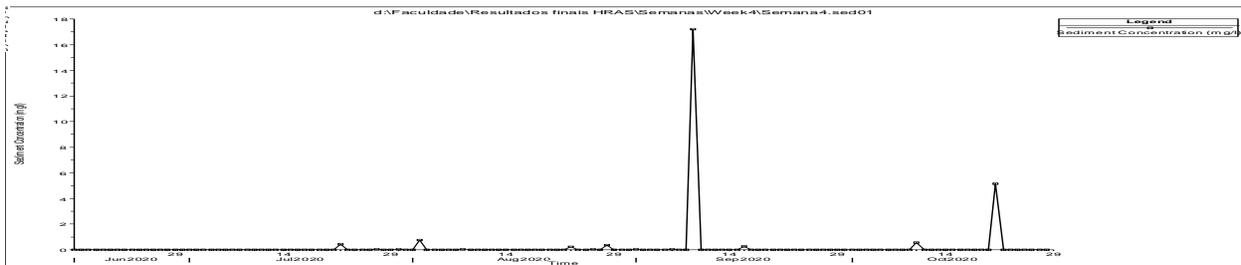


Figura 59: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Yang)

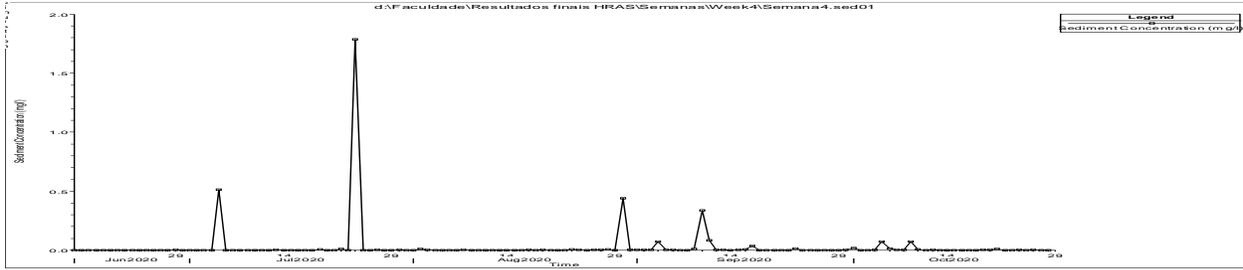


Figura 60: Concentração de sedimentos em função de tempo no FIPAG, segundo (Yang)

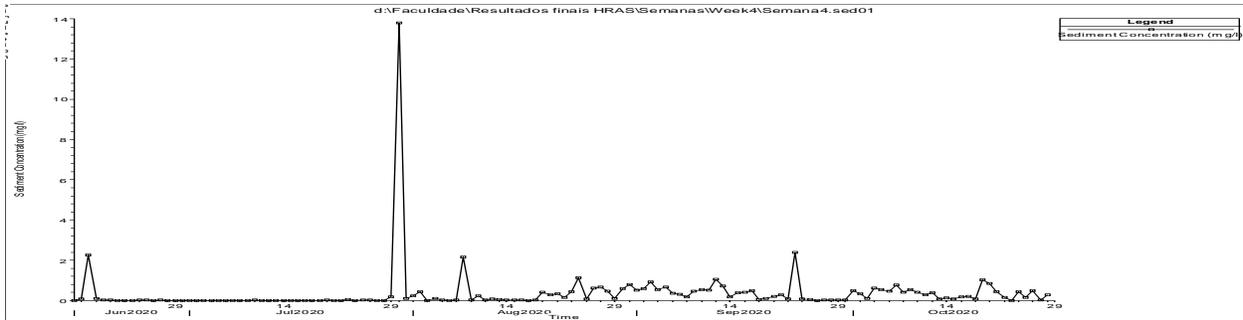


Figura 61: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Yang)

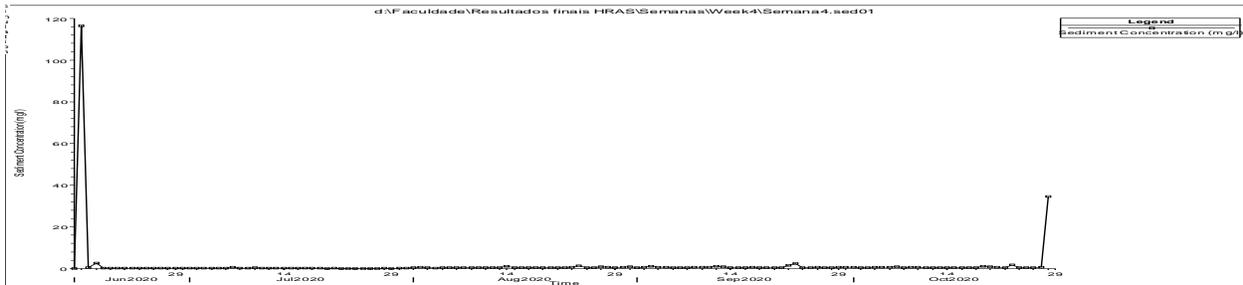


Figura 62: Concentração de sedimentos em função de tempo na Massavasse, segundo (Yang)

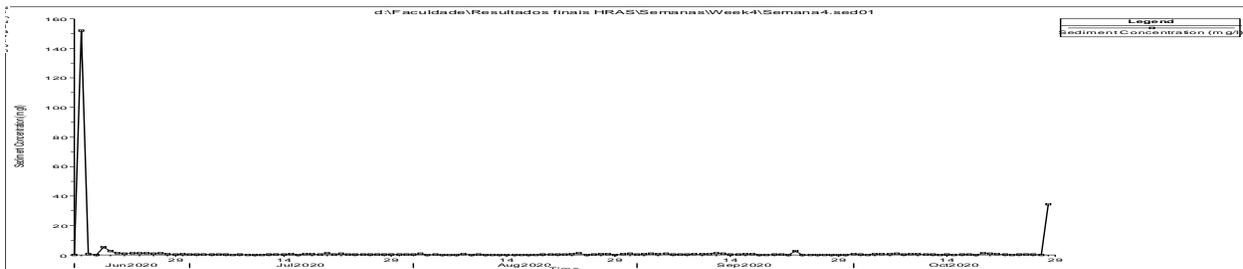


Figura 63: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Yang)

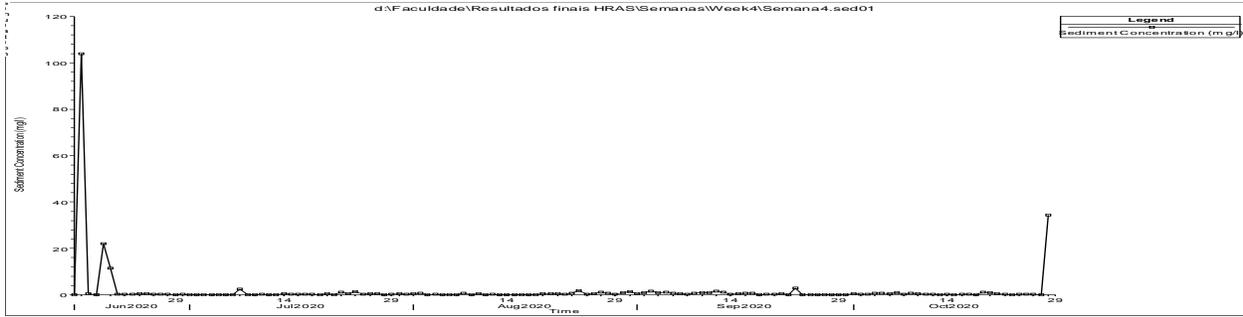


Figura 64: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Yang)

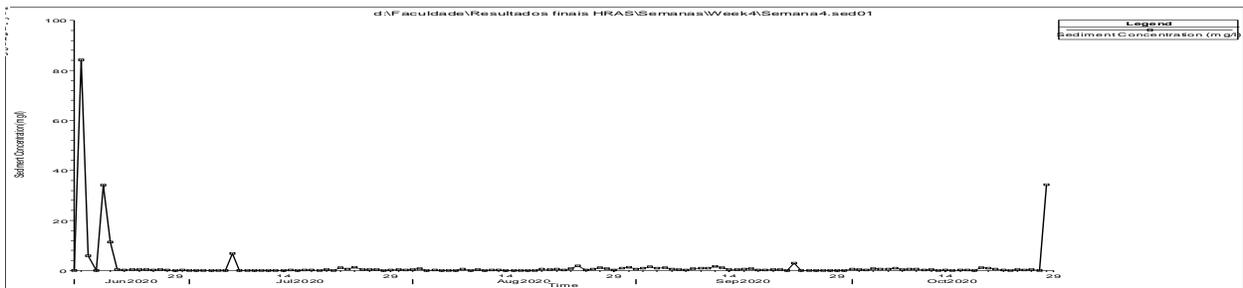


Figura 65: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Yang)

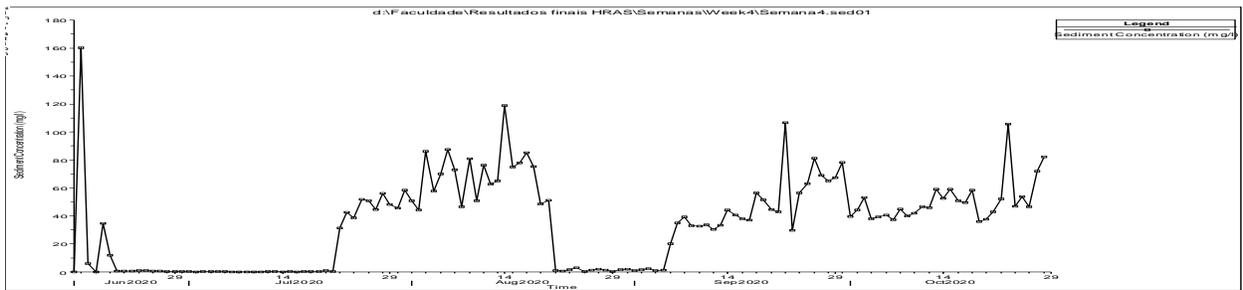


Figura 66: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Yang)

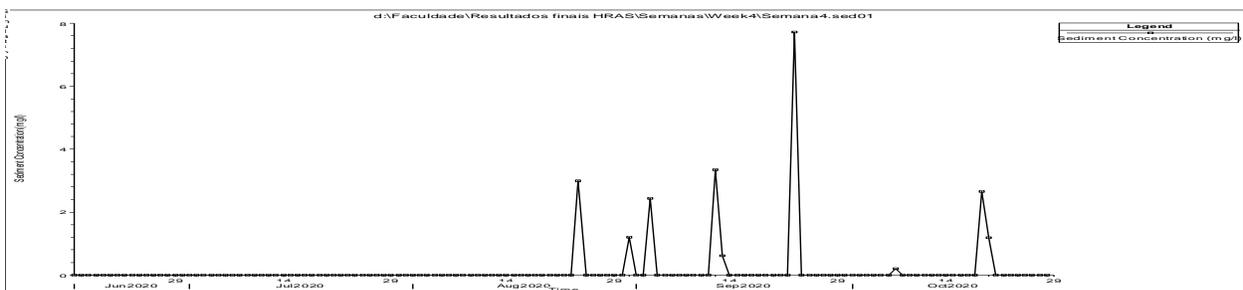


Figura 67: Concentração de sedimentos em função de tempo na Tomada, segundo (Laursen Copeland)

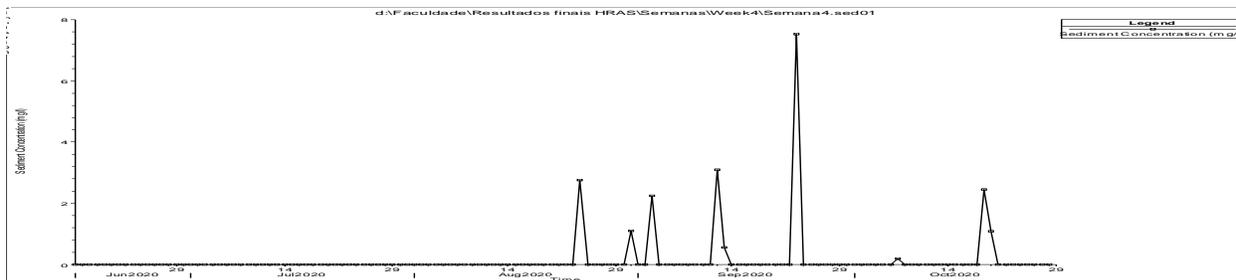


Figura 68: Concentração de sedimentos em função de tempo no Nó, segundo (Laursen Copeland)

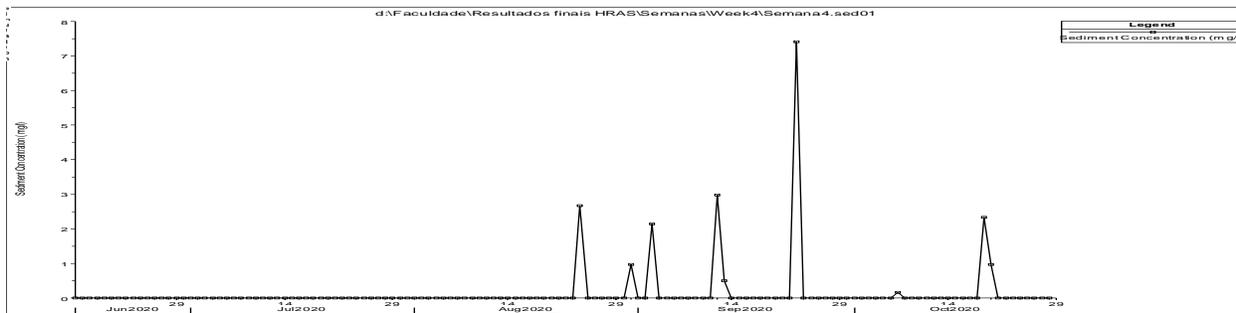


Figura 69: Concentração de sedimentos em função de tempo em FIPAG, segundo (Laursen Copeland)

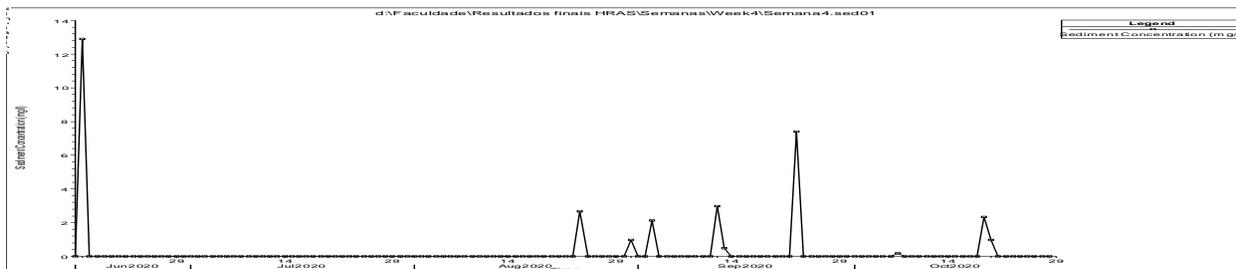


Figura 70: Concentração de sedimentos em função de tempo em Lionde, segundo (Laursen Copeland)

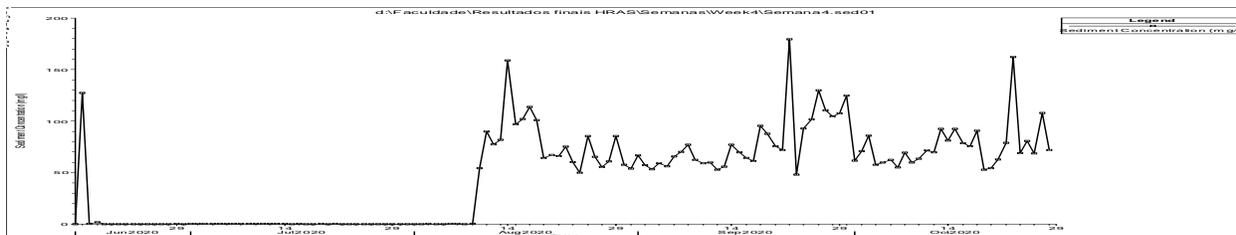


Figura 71: Concentração de sedimentos em função de tempo em Massavasse, segundo (Laursen Copeland)

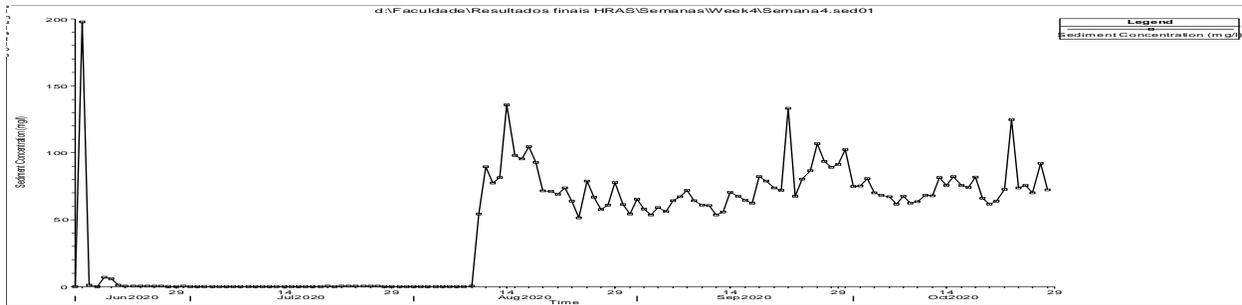


Figura 72: Concentração de sedimentos em função de tempo em Conhane, segundo (Laursen Copeland)

Figura 73: Concentração de sedimentos em função de tempo em Muianga, segundo (Laursen Copeland)

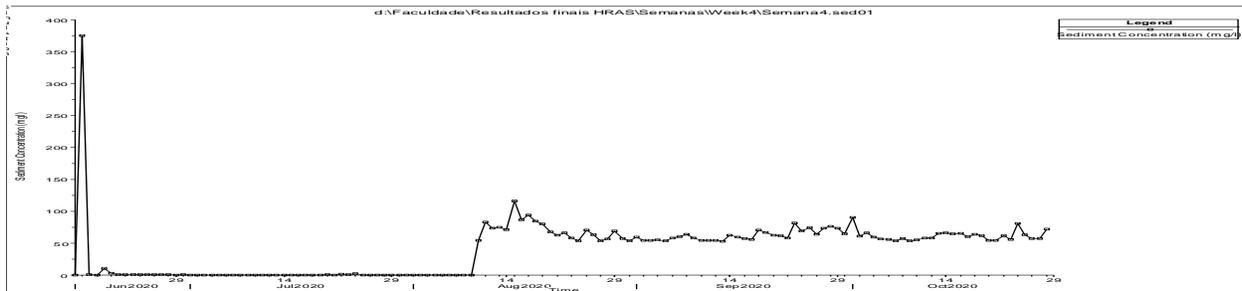


Figura 74: Concentração de sedimentos em função de tempo em Nico, segundo (Laursen Copeland)

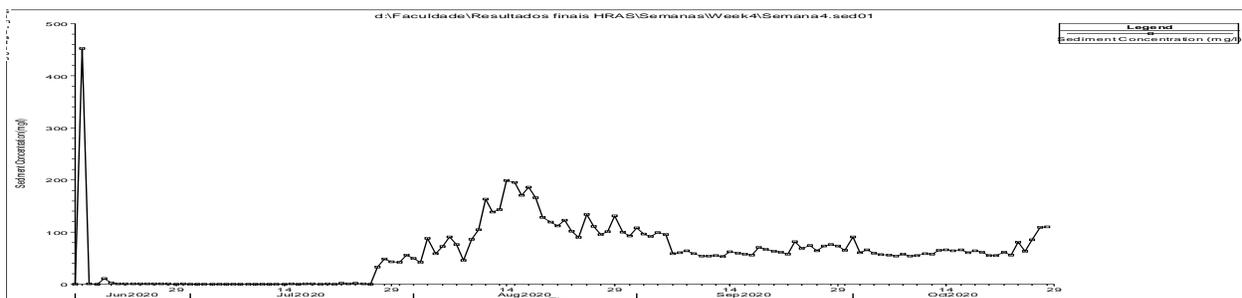


Figura 75: Concentração de sedimentos em função de tempo em Marrambajane, segundo (Laursen Copeland)

Nas Tabelas abaixo são ilustradas os valores medias obtidas nas secções transversais através do HEC-RAS.

HEC-RAS.

semana I							
Medias Yang							
Seccoes	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	4.06E-01	1.49E-02	0.750	0.750	0.750	5.21E-03	4.722
No	4.06E-01	1.36E-02	1.309	0.750	0.750	3.34E-03	0.278
FIPAG	4.06E-01	1.04E-02	0.749	0.750	0.750	2.53E-03	0.225
Conhane	4.06E-01	3.49E-02	0.696	0.749	0.749	1.20E-02	9.895
Massavasse	4.06E-01	9.88E-02	0.831	0.749	0.750	4.38E-02	40.676
Lionde	4.06E-01	0.843	0.830	0.694	0.732	0.8394777	110.899
Muianga	4.06E-01	0.087	1.790	0.750	0.750	4.11E-02	2.635
Nico	4.06E-01	5.31E-02	0.672	0.749	0.749	1.90E-02	7.254
Marrambajane	0.405	0.465	1.578	0.750	0.750	1.0103583	8.402

Tabela 3: Medias segundo Yang (Hec-Ras)

semana I							
Medias Laursen Copeland							
Seccoes	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	4.06E-01	1.42E-02	0.750088	0.750088	0.750088	4.83E-03	1.8371E-07
No	4.06E-01	1.31E-02	0.750088	0.750088	0.750088	3.18E-03	3.78353E-08
FIPAG	4.06E-01	1.02E-02	0.750088	0.750088	0.750088	2.44E-03	2.25424E-08
Conhane	4.06E-01	3.31E-02	0.750088	0.750088	0.750088	1.12E-02	4.86194E-06
Massavasse	4.06E-01	9.09E-02	0.750101	0.750088	0.750088	3.91E-02	0.001
Lionde	4.06E-01	0.964579	1.319588	0.751025	0.750291	1.007	23.148
Muianga	4.06E-01	0.086351	0.656402	0.750088	0.750088	4.01E-02	0.00063162

							5
Nico	4.06E-01	5.39E-02	0.75008	0.750088	0.750088	1.94E-02	5.48965E-05
Marrambajane	4.06E-01	0.470547	1.482376	0.753236	0.750626	1.001	42.903

Tabela 4: Media Segundo Laursen Copeland(Hec-Ras)

semana II							
Medias Laursen Copeland							
Seccoes	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	0.970903	1.64E-02	0.588507	0.588507	0.588507	3.89E-03	0
No	0.970903	1.51E-02	0.588507	0.588507	0.588507	3.12E-03	0
FIPAG	0.970903	1.64E-02	0.588507	0.588507	0.588507	3.08E-03	0
Conhane	0.970903	3.45E-02	0.588507	0.588507	0.588507	8.31E-03	0
Massavasse	0.970903	0.112114	0.767131	0.588507	0.588507	4.27E-02	3.01686
Lionde	0.970903	7.55E-02	0.462543	0.588507	0.588507	2.23E-02	0.169481
Muianga	0.970903	5.92E-02	0.58195	0.588507	0.588507	1.43E-02	0.009495
Nico	0.970903	6.87E-02	0.59045	0.588507	0.588507	1.87E-02	0.061114
Marrambajane	0.970903	0.099238	0.662448	0.588507	0.588507	4.55E-02	1.061182

Tabela 5: Media Segundo Laursen Copeland (Hec-Ras)

semana II							
Medias Yang							
Seccoes	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	0.970903	1.64E-02	0.588507	0.588507	0.588507	3.89E-03	0.000881
No	0.970903	1.51E-02	0.588508	0.588507	0.588507	3.12E-03	0.001411
FIPAG	0.970903	1.64E-02	0.589079	0.588507	0.588507	3.08E-03	0.008447
Conhane	0.970903	3.45E-02	0.603254	0.588507	0.588507	8.31E-03	0.355942
Massavasse	0.970903	0.112127	0.635203	0.588507	0.588507	4.28E-02	1.289761
Lionde	0.970903	7.55E-02	0.537856	0.588507	0.588507	2.23E-02	0.013477
Muianga	0.970903	5.92E-02	0.588053	0.588507	0.588507	1.43E-02	0.001016
Nico	0.970903	6.87E-02	0.588584	0.588507	0.588507	1.87E-02	0.004502
Marrambajane	0.970903	0.099238	0.625857	0.588507	0.588507	4.55E-02	0.532234

Tabela 6: Media Segundo Yang (Hec-Ras)

semana III							
------------	--	--	--	--	--	--	--

Medias Laursen Copeland							
Seccoos	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	1.196092	0.01909	3.03E-08	0.015889	0.015889	4.69E-03	0.036603
No	1.196092	1.76E-02	0.002435	0.015889	0.015889	3.82E-03	0.035222
FIPAG	1.196092	1.89E-02	3.03E-08	0.015889	0.015889	3.81E-03	0.036827
Conhane	1.196092	3.93E-02	3.03E-08	0.016657	0.015892	1.01E-02	0.233191
Massavasse	1.196092	0.110753	3.03E-08	0.000886	0.015889	4.02E-02	6.128
Lionde	1.196092	0.089162	0.038217	0.026626	0.015889	0.027197	6.095142
Muianga	1.196092	6.97E-02	0.039167	0.015889	0.015889	1.76E-02	4.545545
Nico	1.196092	8.12E-02	0.005333	0.050484	0.015895	0.022713	6.105188
Marrambajane	1.196092	0.114153	3.03E-08	0.011965	0.015889	5.01E-02	9.893692

Tabela 7: Media Segundo Laursen Copeland (Hec-Ras)

semana III							
Medias Yang							
Seccoos	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	1.196092	0.019138	3.03E-08	0.015889	0.015889	4.71E-03	3.16E-03
No	1.196092	1.76E-02	0.007469	0.015889	0.015889	3.83E-03	2.90E-03
FIPAG	1.196092	1.89E-02	0.006227	0.015888	0.015889	3.82E-03	2.72E-03
Conhane	1.196092	3.94E-02	3.03E-08	1.75E-02	1.59E-02	1.01E-02	2.29E-01
Massavasse	1.196092	0.111348	3.03E-08	3.03E-08	0.015889	4.05E-02	6.121998
Lionde	1.196092	0.087444	0.022652	0.035352	0.015891	2.65E-02	7.834733
Muianga	1.196092	7.04E-02	0.033975	0.015889	0.015889	1.79E-02	5.451259
Nico	1.196092	8.07E-02	6.46E-03	3.67E-02	1.59E-02	2.25E-02	7.69E+00
Marrambajane	1.196092	0.113942	3.03E-08	3.03E-08	0.015889	5.01E-02	1.16E+01

Tabela 8: Media Segundo Yang (Hec-Ras)

semana IV							
Medias Yang							
Seccoos	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	0.934781	0.015892	0.208625	0.022433	0.022433	4.04E-03	0.187331
No	0.934781	1.44E-02	0.198247	0.022433	0.022433	3.20E-03	0.030209
FIPAG	0.934781	1.54E-02	0.210874	0.022433	0.022433	3.16E-03	0.027078
Conhane	0.934781	3.30E-02	0.258601	0.022559	0.022438	8.70E-03	0.356902

Massavasse	0.934781	0.094644	0.209573	0.022691	0.022469	3.83E-02	1.588389
Lionde	0.934781	7.59E-02	0.152689	0.022462	0.022462	2.37E-02	1.809008
Muianga	0.934781	5.67E-02	0.169661	0.022433	0.022433	1.47E-02	1.639857
Nico	0.934781	0.068341	0.211117	0.022433	0.022433	1.98E-02	1.655647
Marrambajane	0.934781	0.101596	0.316193	0.090988	0.023607	4.93E-02	34.91124

Tabela 9: Media Segundo Yang (Hec-Ras)

semana IV							
Medias Laursen Copeland							
Seccoes	Vazao (m3/s)	Velocidade (m/s)	d50 Cover (mm)	d50 Subsurface (mm)	d50 Inactive (mm)	Nr de Froude	CS (mg/l)
Tomada	0.934781	0.015871	0.208625	0.022433	0.022433	4.03E-03	0.1645
No	0.934781	1.44E-02	0.204151	0.022433	0.022433	3.19E-03	0.154492
FIPAG	0.934781	1.54E-02	0.20663	0.022433	0.022433	3.16E-03	0.147988
Conhane	0.934781	3.29E-02	0.208625	0.022438	0.022438	8.68E-03	0.24272
Massavasse	0.934781	7.56E-02	0.135416	0.022472	0.022472	2.36E-02	45.51547
Lionde	0.934781	5.66E-02	0.09654	0.022457	0.022457	1.47E-02	39.82878
Muianga	0.934781	0.068058	0.210949	0.02247	0.02247	1.96E-02	40.7545
Nico	0.934781	0.068058	0.210949	0.02247	0.02247	1.96E-02	40.7545
Marrambajane	0.934781	0.015871	0.208625	0.022433	0.022433	4.03E-03	0.1645

Tabela 10: Media Segundo Laursen Copeland (Hec-Ras)

A. Imagens de Campo



Figura 76: Ponte Massavasse



Figura 77: Ponte Tomada do canal principal



Figura 78: Ponte FIPAG



Figura 79: Cápsulas usadas na secagem de sedimentos suspensos



Figura 80: Secção Rio (Marrambajane)

2 Anexos

As tabelas abaixo ilustram os dados obtidos no campo, laboratório e Excel.

Tabela 11: Dados da Tomada

Tomada							
Semana	Data de Colecta	Prof. (cm)	P. tara (g)	V (mL)	P. final (g)	P. Sed. (g)	C (mg/L)
I	27/02/20	0	31.211	75.000	31.248	0.037	493.333
	27/02/20	20	31.539	75.000	31.585	0.046	613.333
	27/02/20	40	31.317	75.000	31.364	0.047	626.667
	27/02/20	60	32.454	75.000	32.488	0.034	453.333
	27/02/20	80	34.517	100.000	34.577	0.060	600.000
	27/02/20	100	33.479	100.000	33.527	0.048	480.000
	27/02/20	120	30.539	100.000	30.600	0.061	610.000
	27/02/20	140	10.819	25.000	10.833	0.014	560.000
	27/02/20	160	9.976	50.000	10.001	0.025	500.000
	27/02/20	Média	27.317	75.000	27.358	0.041	548.519
II	04/03/2020	0	31.208	75.000	31.256	0.048	640.000
	04/03/2020	20	31.535	75.000	31.588	0.053	706.667
	04/03/2020	40	31.317	75.000	31.366	0.049	653.333
	04/03/2020	60	32.451	75.000	32.515	0.064	853.333
	04/03/2020	80	34.515	100.000	34.605	0.090	900.000
	04/03/2020	100	33.479	100.000	33.560	0.081	810.000
	04/03/2020	120	30.535	100.000	30.628	0.093	930.000

	04/03/2020	140	10.816	25.000	10.847	0.031	1240.000	
	04/03/2020	160	9.975	50.000	10.037	0.062	1240.000	
	04/03/2020	Média	27.315	75.000	27.378	0.063	885.926	
	11/03/2020	0	31.198	75.000	31.217	0.019	253.333	
	11/03/2020	20	31.519	75.000	31.534	0.015	200.000	
	11/03/2020	40	31.292	75.000	31.317	0.025	333.333	
	11/03/2020	60	32.422	75.000	32.445	0.023	306.667	
III	11/03/2020	80	34.501	100.000	34.548	0.047	470.000	
	11/03/2020	100	33.462	100.000	33.495	0.033	330.000	
	11/03/2020	120	30.522	100.000	30.559	0.037	370.000	
	11/03/2020	140	10.805	25.000	10.815	0.010	400.000	
	11/03/2020	160	9.967	50.000	9.98	0.013	260.000	
	11/03/2020	Média	27.299	75.000	27.323	0.025	324.815	
		18/03/2020	0	31.173	75.000	31.189	0.016	213.333
	18/03/2021	20	31.507	75.000	31.530	0.023	306.667	
	18/03/2022	40	31.283	75.000	31.307	0.024	320.000	
	18/03/2023	60	32.401	75.000	32.430	0.029	386.667	
IV	18/03/2024	80	34.48	100.000	34.517	0.037	370.000	
	18/03/2025	100	33.432	100.000	33.465	0.033	330.000	
	18/03/2026	120	30.504	100.000	30.541	0.037	370.000	
	18/03/2027	140	10.806	25.000	10.808	0.002	80.000	

18/03/2028	160	9.941	50.000	9.959	0.018	360.000
18/03/2029	Média	27.281	75.000	27.305	0.024	304.074

Tabela 12: Dados N6

N6						
Data de Colecta	Prof. (cm)	P. tara (g)	V (mL)	P. final (g)	P. Sed. (g)	C (mg/L)
27/02/20	0	22.568	50.000	22.592	0.024	480.000
27/02/20	20	31.310	75.000	31.348	0.038	506.667
27/02/20	40	32.723	75.000	32.747	0.024	320.000
27/02/20	60	31.853	75.000	31.879	0.026	346.667
27/02/20	80	36.099	100.000	36.137	0.038	380.000
27/02/20	100	32.805	100.000	32.851	0.046	460.000
27/02/20	120	36.176	100.000	36.220	0.044	440.000
27/02/20	140	11.609	25.000	11.615	0.006	240.000
27/02/20	160	11.479	25.000	11.487	0.008	320.000
27/02/20	Média	27.402	69.444	27.431	0.028	388.148
04/03/2020	0	22.564	50.000	22.592	0.028	560.000
04/03/2020	20	31.304	75.000	31.338	0.034	453.333
04/03/2020	40	32.719	75.000	32.751	0.032	426.667
04/03/2020	60	31.855	75.000	31.886	0.031	413.333
04/03/2020	80	36.093	100.000	36.144	0.051	510.000
04/03/2020	100	32.806	100.000	32.854	0.048	480.000
04/03/2020	120	36.173	100.000	36.225	0.052	520.000

04/03/2020	140	11.605	25.000	11.612	0.007	280.000
04/03/2020	160	11.476	25.000	11.483	0.007	280.000
04/03/2020	Média	27.399	69.444	27.432	0.032	435.926
11/03/2020	0	22.559	50.000	22.570	0.011	220.000
11/03/2020	20	31.292	75.000	31.310	0.018	240.000
11/03/2020	40	32.682	75.000	32.705	0.023	306.667
11/03/2020	60	31.836	75.000	31.855	0.019	253.333
11/03/2020	80	36.077	100.000	36.105	0.028	280.000
11/03/2020	100	32.770	100.000	32.795	0.025	250.000
11/03/2020	120	36.172	100.000	36.201	0.029	290.000
11/03/2020	140	11.595	25.000	11.601	0.006	240.000
11/03/2020	160	11.463	25.000	11.470	0.007	280.000
11/03/2020	Média	27.383	69.444	27.401	0.018	262.222
18/03/2020	0	22.555	50.000	22.564	0.009	180.000
18/03/2021	20	31.247	75.000	31.260	0.013	173.333
18/03/2022	40	32.667	75.000	32.683	0.016	213.333
18/03/2023	60	31.823	75.000	31.838	0.015	200.000
18/03/2024	80	36.062	100.000	36.087	0.025	250.000
18/03/2025	100	32.746	100.000	32.775	0.029	290.000
18/03/2026	120	36.157	100.000	36.182	0.025	250.000
18/03/2027	140	11.587	25.000	11.592	0.005	200.000
18/03/2028	160	11.463	25.000	11.463	0.000	0.000
18/03/2029	Média	27.367	69.444	27.383	0.015	195.185

FIPAG

Data de Colecta	Prof. (cm)	P. tara (g)	V (mL)	P. final (g)	P. Sed. (g)	C (mg/L)
27/02/20	0	33.696	50.000	33.738	0.042	840.000
27/02/20	20	33.010	75.000	33.051	0.041	546.667
27/02/20	40	33.416	75.000	33.455	0.039	520.000
27/02/20	60	34.530	75.000	34.572	0.042	560.000
27/02/20	80	32.828	100.000	32.857	0.029	290.000
27/02/20	100	31.418	100.000	31.443	0.025	250.000
27/02/20	120	21.933	100.000	21.951	0.018	180.000
27/02/20	140	11.563	25.000	11.569	0.006	240.000
27/02/20	160	11.570	25.000	11.579	0.009	360.000
27/02/20	Média	27.107	69.444	27.135	0.028	420.741
04/03/2020	0	33.691	50.000	33.736	0.045	900.000
04/03/2020	20	33.008	75.000	33.051	0.043	573.333
04/03/2020	40	33.415	75.000	33.463	0.048	640.000
04/03/2020	60	34.533	75.000	34.583	0.050	666.667
04/03/2020	80	32.826	100.000	32.864	0.038	380.000
04/03/2020	100	31.414	100.000	31.451	0.037	370.000
04/03/2020	120	21.935	100.000	21.958	0.023	230.000
04/03/2020	140	11.562	25.000	11.57	0.008	320.000
04/03/2020	160	11.576	25.000	11.581	0.005	200.000
04/03/2020	Média	27.107	69.444	27.140	0.033	475.556

11/03/2020	0	33.671	50.000	33.691	0.020	400.000
11/03/2020	20	32.988	75.000	33.013	0.025	333.333
11/03/2020	40	33.379	75.000	33.407	0.028	373.333
11/03/2020	60	34.506	75.000	34.534	0.028	373.333
11/03/2020	80	32.793	100.000	32.814	0.021	210.000
11/03/2020	100	31.392	100.000	31.411	0.019	190.000
11/03/2020	120	21.925	100.000	21.935	0.010	100.000
11/03/2020	140	11.555	25.000	11.560	0.005	200.000
11/03/2020	160	11.555	25.000	11.561	0.006	240.000
11/03/2020	Média	27.085	69.444	27.103	0.018	268.889
18/03/2020	0	33.635	50.000	33.663	0.028	560.000
18/03/2021	20	32.962	75.000	32.985	0.023	306.667
18/03/2022	40	33.368	75.000	33.395	0.027	360.000
18/03/2023	60	34.473	75.000	34.497	0.024	320.000
18/03/2024	80	32.773	100.000	32.788	0.015	150.000
18/03/2025	100	31.374	100.000	31.392	0.018	180.000
18/03/2026	120	21.915	100.000	21.925	0.010	100.000
18/03/2027	140	11.539	25.000	11.543	0.004	160.000
18/03/2028	160	11.547	25.000	11.551	0.004	160.000
18/03/2029	Média	27.065	69.444	27.082	0.017	255.185