

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

RELATÓRIO ANUAL:

**Anexo 3 Dulcícola – Monitoramento de Fluxos de Água e
Sedimentos**

RT-18C RRDM/NOV19

Coordenação Geral

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

COORDENAÇÕES

Anexo 1

Adalto Bianchini (FURG)

Anexo 3

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

Anexo 4

Jacqueline Albino (UFES)

Subprojetos

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

Anexo 6

Agnaldo Silva Martins (UFES)

Subprojetos

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

Anexo 7

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Carlos W. Hackradt (UFSB)

Fabiana Felix Hackradt (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

Anexo 8

Heitor Evangelista (UERJ)

Coordenação Técnica (CTEC)

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

Coordenação Escritório de Projetos

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	METODOLOGIA	7
2.1	HIDROLOGIA – MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS.....	7
3	RESULTADOS	10
3.1	HIDROLOGIA – MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS.....	10
3.1.1	Fluxos e Níveis D'água	10
3.1.2	Fluxos de Sedimentos	28
4	REFERÊNCIAS	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização dos pontos de monitoramento.	9
Figura 2: Curva-chave de vazão no P21, obtida com dados do PMBA (N=12).....	12
Figura 3: Comparação entre vazões médias mensais no Rio Doce em Colatina (1938-2014), vazão média de longo termo (QMLT 1938-2014), e vazões em Linhares (PMBA - RRDM P21).....	13
Figura 4: Comparação entre vazões medidas no Rio Doce (RRDM P21) e as vazões de períodos seco e úmido em Colatina (56994500 1938 – 2014)	13
Figura 5: Vazões diárias estimadas em Colatina (56994500 2014 – 2019) e vazões medidas durante e após o rompimento da barragem de Fundão. Os maiores valores correspondem às datas: 22/01/2016, 18/12/2016, 08/02/2018 e 01/01/2019.....	14
Figura 6: Locais de monitoramento de salinidade e temperatura, próximo à foz do rio Doce, com indicação da seção (ADCP) onde são medidos fluxos d'água.	17
Figura 7: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 14/05/2019, para diferentes níveis d'água.....	19
Figura 8: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 11/06/2019, para diferentes níveis d'água.....	20
Figura 9: Níveis e fluxos d'água medidos na campanha de julho/2019.....	21
Figura 10: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 16/07/2019, para diferentes níveis d'água.....	22
Figura 11: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 13/08/2019, para diferentes níveis d'água.....	24
Figura 12: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 17/09/2019, para diferentes níveis d'água.....	26
Figura 13: Níveis d'água medidos no rio Doce, no período de 01/03/2010 a 30/06/2019, em Povoação (referência de nível local) e em Regência (P26) (NMM local).	28
Figura 14: Resumo sedimentométrico dos dados medidos no Rio Doce nos pontos P21 e P22. (a) Concentração de sedimentos suspensos (CSS); (b) Descarga sólida de sedimentos em suspensão (Qsm); (c) Descarga sólida de sedimentos de fundo (Qf); (d) Descarga sólida total de sedimento (Qt)	30
Figura 15: Curva-chave de sedimentos suspensos no P21, obtida com dados do PMBA.	31
Figura 16: Curva chave de sedimentos suspensos da estação 56994500 (ANA – Colatina).....	32

Figura 17: Descargas de sedimentos suspensos (a) e vazões (b) em Colatina.....	33
Figura 18: Descargas de sedimentos suspensos no rio Doce em Linhares – P21.....	34
Figura 19: Descargas de sedimentos suspensos (médias mensais e máximas diárias) no rio Doce em Linhares – P21, estimadas de outubro/2018 a setembro/2019.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas UTM dos locais de monitoramento do PMBA	7
Tabela 2: Níveis d'água e vazões medidas no ponto P21.....	11
Tabela 3: Níveis d'água e vazões medidas no ponto P04.....	15
Tabela 4: Estatística descritiva dos parâmetros salinidade e temperatura, medidos no ponto P04, considerando todas as medições (N) feitas durante o período de execução de cada campanha.....	16
Tabela 5: Estatística descritiva dos parâmetros salinidade e temperatura, medidos no ponto P26 e imediações, considerando todas as medições (N) feitas durante o período de execução de cada campanha.....	18
Tabela 6: Descargas sólidas estimadas no rio Doce, em Linhares, ponto P21.....	35
Tabela 7: Estimativas de descargas sólidas no rio Doce, em Linhares, utilizando método de Einstein.	35
Tabela 8: Maiores valores de descargas sólidas estimadas no rio Doce, em Linhares, ponto P22.	36

ANEXO 3 – Monitoramento e Avaliação do Impacto no Ambiente Dulcícola

SUB-PROJETO: Hidrologia – Monitoramento de Fluxos de Água e Sedimentos

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do Plano de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), o monitoramento de fluxos de água e sedimentos possibilita um melhor entendimento sobre aspectos hidrossedimentológicos da bacia de drenagem, auxiliando no entendimento de como esses fluxos podem alterar os ambientes fluvial e costeiro.

A bacia do rio Doce drena uma área de 83.400 km², sendo 86% da área localizada em Minas Gerais e 14% no Espírito Santo. A calha do rio principal tem 897 km de extensão. O trecho denominado Baixo Rio Doce está compreendido entre o Rio Manhuaçu, na porção mineira, até a foz do rio em Regência, município de Linhares.

A Figura 1 indica o trecho monitorado, localizado entre Linhares e Regência (P21 a P26), com 44 km de extensão, o qual se apresenta assoreado com formação de bancos de areia, o que dificulta a navegação em períodos de baixas vazões do rio. A seção de monitoramento localizada em Linhares (P21) foi definida como representativa de toda a carga de sedimentos que aflui da bacia para a zona costeira adjacente à foz do rio Doce.

2 METODOLOGIA

2.1 HIDROLOGIA – MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS

Com finalidade de monitorar descargas líquidas e sólidas no rio Doce, bem como fluxos e variações de níveis d'água, para caracterização do ambiente estudado, foram executados os monitoramentos descritos a seguir.

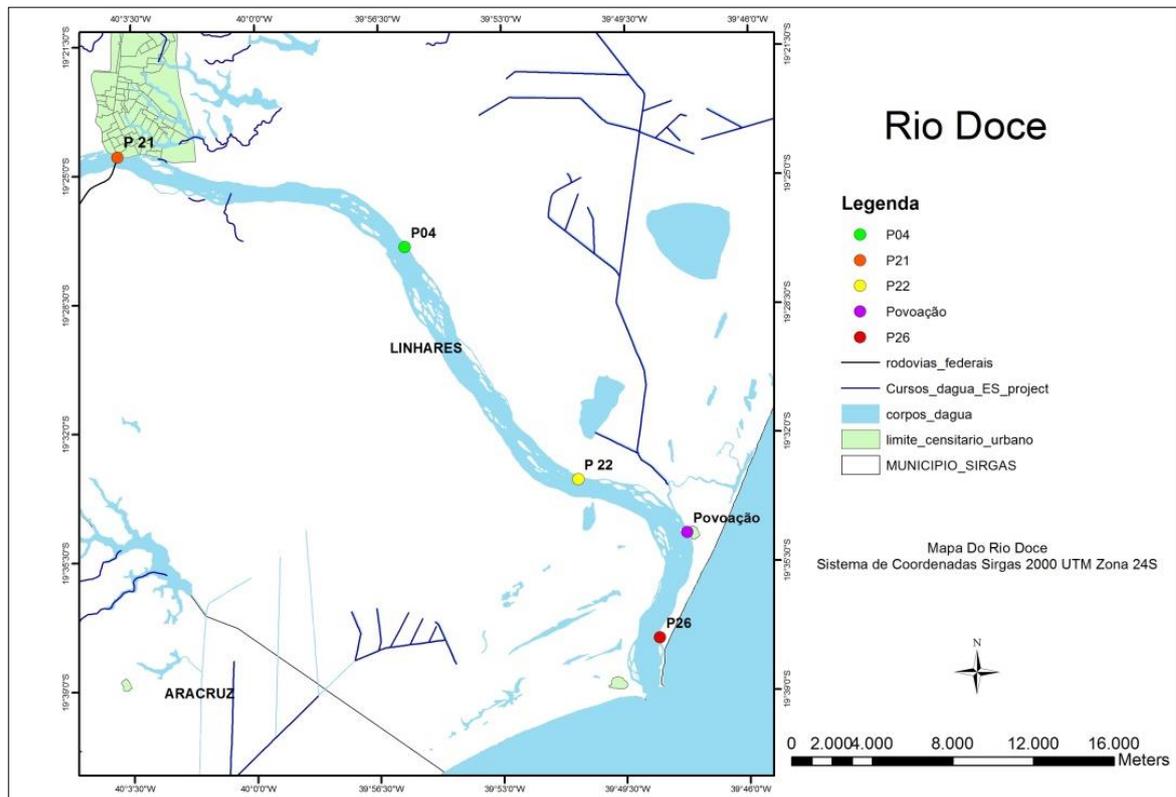
Os pontos de monitoramento estão localizados no Baixo Rio Doce, entre Linhares e a foz do rio em Regência, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1: Coordenadas UTM dos locais de monitoramento do PMBA

Ponto	Coordenadas UTM (<i>Datum</i> Sirgas 2000 - 24K)	
	Leste	Norte
P21	388.195	7.853.688
P04	402.470	7.849.208
P22	411.093	7.837.594
Povoação	415.508	7.834.943
P26 (fluxo)	415.152	7.829.660

Ponto	Coordenadas UTM (<i>Datum</i> Sirgas 2000 - 24K)	
	Leste	Norte
P26 (nível)	413.611	7.827.636

Figura 1: Mapa de localização dos pontos de monitoramento.



Nos pontos P21 e P22 são realizadas medições de fluxos de águas (vazão) e de sedimentos (carga de sedimentos).

Nos pontos P04 e P26 são realizadas medições de fluxo de água, salinidade e temperatura.

Nos pontos P21, P04, Povoação e P26 é feito monitoramento de níveis d'água. No ponto P22 não é medido esse parâmetro, uma vez que não foi autorizado o acesso da equipe de campo para instalação de seção fluviométrica.

As medições de vazão foram feitas com ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) River Ray e processadas no software Winriver II da RDInstruments.

Níveis d'água foram obtidos com sensores de pressão. Salinidade e temperatura foram medidas *in situ* com sonda multiparâmetros portátil.

As amostragens da mistura água/sedimentos foram feitas pelo método de Igual Incremento de Largura em 12 verticais espaçadas ao longo da seção transversal. Os sedimentos de fundo foram coletados com draga em seis pontos na seção do rio.

Em laboratório foram determinadas concentrações e granulometrias de sedimentos suspensos pelo método de tubo de retirada pela base, além de granulometrias de sedimentos de fundo pelo método de peneiramento.

As estimativas de fluxos de sedimentos foram feitas pelo Método modificado de Einstein, conforme apresentado em Carvalho (2008).

As campanhas foram realizadas com periodicidade mensal, de outubro/2018 a setembro/2019, 12 campanhas no total.

3 RESULTADOS

3.1 HIDROLOGIA – MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS

3.1.1 Fluxos e Níveis D'água

A partir dos pares cota x vazão obtidos nas campanhas mensais, foi feito ajuste de curva-chave (curva de descarga) para o ponto P21. A maior parte dos dados de vazões medidos apresentaram valores inferiores ao característico de período seco, 600 m³/s, considerando dados da estação Colatina Ponte - 56994500 (1938 a 2014) (SNIRH, 2018). Tal fato resultou em curva com pontos mais concentrados em seu tramo inferior.

Para o ponto P21 foram estimadas vazões horárias, médias diárias e médias mensais, utilizando os resultados das leituras de níveis d'água e do ajuste de curva-chave. Estimativas de vazões para níveis d'água acima do máximo nível d'água medido nas 12 campanhas foram obtidas a partir de extrapolação de dados de vazões da estação Colatina Ponte – 56994500 (ANA). Esse procedimento foi necessário apenas para alguns dias dos meses de dezembro e janeiro.

No ponto P26, localizado mais próximo à foz do rio Doce, foram avaliados os parâmetros salinidade, temperatura e fluxos d'água associados às variações de níveis d'água.

3.1.1.1 Estação P21

A curva-chave foi obtida com 12 valores de cota, apresentados na Tabela 2, variando de 38 cm a 184 cm. Os níveis d'água medidos acima e abaixo desse intervalo corresponderam a 0,8% (295) e 3,7% (1.304) do total medido em intervalos de 15 min (35.040), respectivamente. No ajuste da curva, 70% das estimativas de vazões apresentaram erros percentuais iguais ou inferiores a 10%.

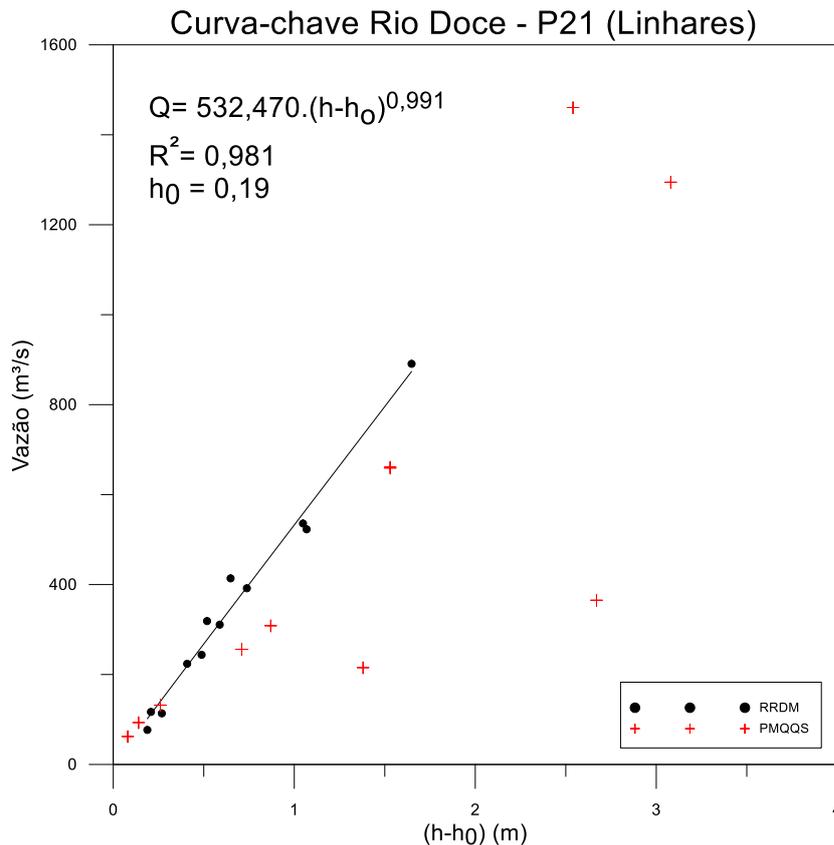
Na Figura 2 é apresentado ajuste de curva-chave do ponto P21, localizado em Linhares. Na mesma figura são apresentados os pontos medidos no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistema de Água e Sedimentos (PMQQS, 2018), estes não usados no ajuste. Pode ser observado na referida figura que a maioria dos pontos obtidos nas medições realizada no PMQQS se apresentaram distantes da curva-chave ajustada aos pontos obtidos nas medições realizadas pelo PMBA.

Tabela 2: Níveis d'água e vazões medidas no ponto P21.

Campanha	Data Hora	Nível (cm)	Vazão (m³/s)
1	4/10/2018 07:53	68	244
2	22/11/2018 07:50	126	523
3	13/12/2018 07:56	184	891
4	18/01/2019 08:51	93	392
5	13/02/2019 08:27	124	536
6	14/03/2019 12:22	71	319
7	11/04/2019 08:56	84	414
8	16/05/2019 08:16	78	311
9	13/06/2019 08:42	60	224
10	18/07/2019 13:01	38	77
11	15/08/2012 08:32	46	114
12	19/09/2019 08:01	40	117

Ressalta-se a importância de obtenção de dados de vazão para valores intermediários e altos de níveis d'água do rio Doce, com finalidade de melhoria do ajuste da curva de descarga.

Figura 2: Curva-chave de vazão no P21, obtida com dados do PMBA (N=12).



Considerando que a diferença percentual entre as áreas de drenagem do rio Doce em Colatina e em Linhares é inferior a 10% e que não há afluentes com vazões significativas no trecho entre as seções transversais correspondentes às respectivas estações fluviométricas, foram utilizados dados consistidos da estação fluviométrica Colatina Ponte - 56994500 (1938 a 2014), para comparação com os dados obtidos no PMBA. Na estação de Colatina, a vazão média de longo termo (QMLT) foi 914 m³/s e as vazões médias para os períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro), foram 1.229 m³/s e 600 m³/s, respectivamente.

No período de monitoramento, observou-se que as vazões médias mensais estimadas no PMBA foram muito inferiores às vazões médias mensais de longo termo, na estação de Colatina, para os mesmos meses. No semestre de medição considerado chuvoso na bacia do rio Doce (out/2018 a mar/2019) a vazão média foi 516 m³/s e desvio padrão 351 m³/s, valor inferior à vazão característica de período seco, considerando registros históricos correspondentes ao período 1938 a 2014. As vazões mínimas e máximas estimadas foram 92 m³/s (20/07/2019) e 2.598 m³/s (02/01/2019). A Figura 3 apresenta gráfico das vazões médias mensais em Colatina (56994500) e em Linhares (P21), enquanto a Figura 4 apresenta comparação entre os valores medidos nas campanhas de monitoramento e as vazões características de períodos seco e úmido.

Figura 3: Comparação entre vazões médias mensais no Rio Doce em Colatina (1938-2014), vazão média de longo termo (QMLT 1938-2014), e vazões em Linhares (PMBA - RRDM P21).

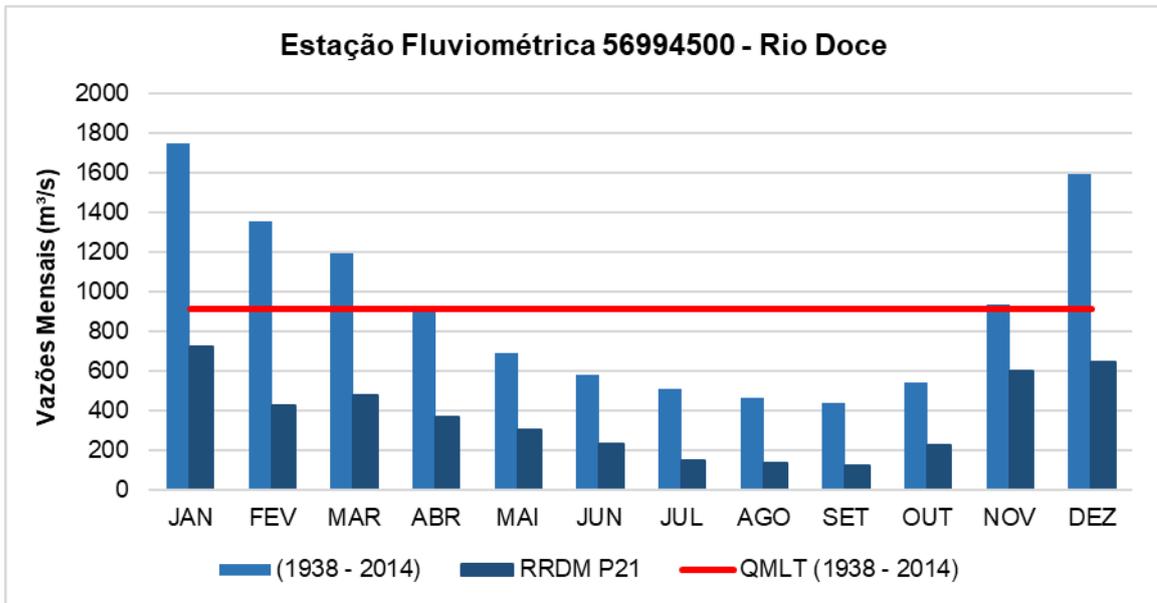
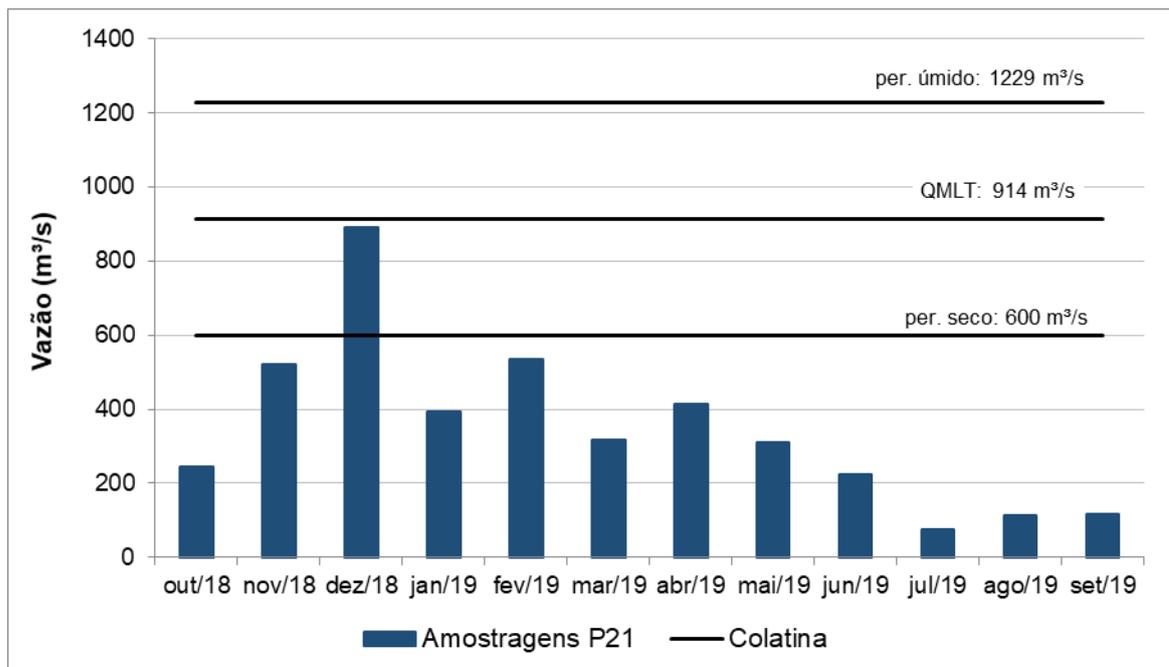


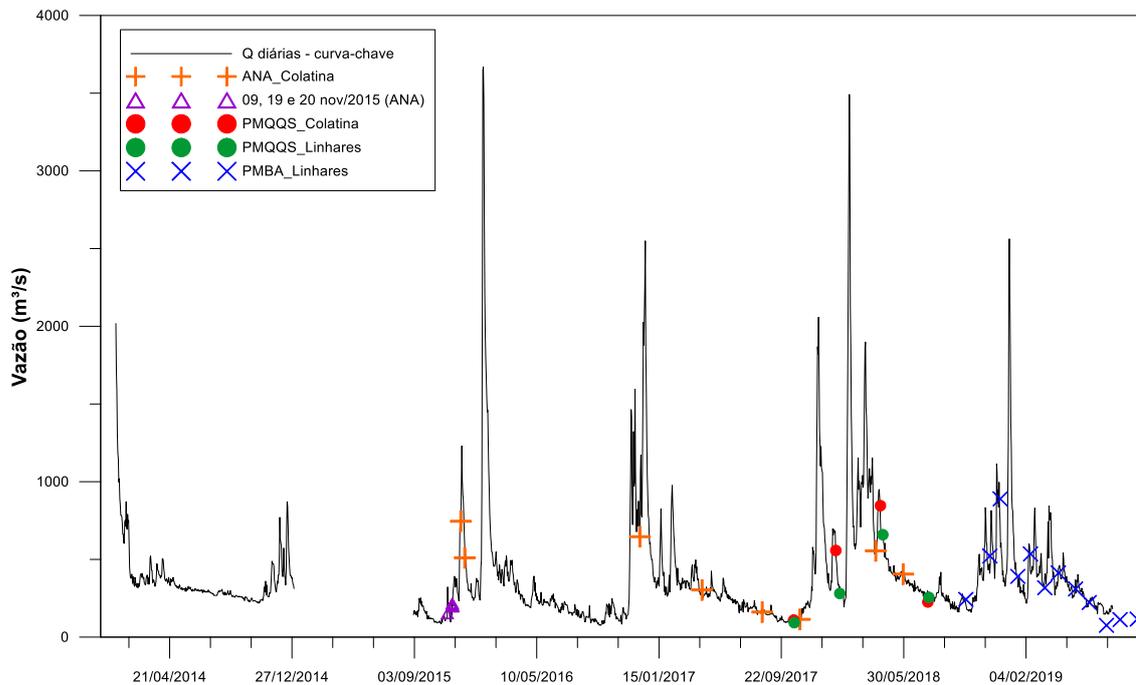
Figura 4: Comparação entre vazões medidas no Rio Doce (RRDM P21) e as vazões de períodos seco e úmido em Colatina (56994500 1938 – 2014)



Desde 2014 a bacia do rio Doce apresenta condições de estiagem (CPRM, 2018), com vazões em diversos meses inferiores às médias históricas (1938-2014) dos meses correspondentes. Na estação 56994500, as vazões médias mensais no período de setembro/2015 a maio/2019, obtidas com dados

brutos, foram inferiores às médias históricas dos mesmos meses (SNIRH, 2019). Na Figura 5 são apresentadas vazões médias diárias brutas para a seção de Colatina para período anterior ao rompimento da barragem de Fundão até maio/2019; vazões medidas pela ANA em razão do evento de passagem da lama de rejeitos (CPRM, 2015), e as vazões monitoradas posteriormente no âmbito do PMQQS (PMQQS, 2018) e do PMBA.

Figura 5: Vazões diárias estimadas em Colatina (56994500 2014 – 2019) e vazões medidas durante e após o rompimento da barragem de Fundão. Os maiores valores correspondem às datas: 22/01/2016, 18/12/2016, 08/02/2018 e 01/01/2019.



3.1.1.2 Estação P04

Essa estação de monitoramento foi inserida como complementação do Anexo 07. Contudo, conforme descrito no relatório semestral, a dinâmica desse ponto pode ser explicada pela estação P21, devido à proximidade entre as duas seções.

Dados de vazões e níveis d'água medidos no P04 são apresentados na Tabela 3. Nessa seção também foram feitas medições de salinidade e temperatura em diferentes horários, em uma mesma campanha, e foram observados apenas valores indicativos de água doce (Tabela 4), ou seja, no período monitorado, não foi observada influência do ambiente costeiro sobre este trecho do rio Doce, no que diz respeito aos parâmetros abióticos monitorados.

Tabela 3: Níveis d'água e vazões medidas no ponto P04

Campanha	Data Hora	Nível (cm)	Vazão (m³/s)
1	05/10/2018 13:40	sem leitura	245
2	23/11/2018 11:10	101,6	467
3	14/12/2018 07:45	115,5	850
4	19/01/2019 08:50	110,0	418
5	14/02/2019 08:38	114,0	457
6	15/03/2019 08:20	100,0	392
7	12/04/2019 08:30	114,0	487,2
8	17/05/2019 08:05	100,0	336
9	14/06/2019 09:09	73,0	198
10	19/07/2019 09:13	57,0	158
11	16/08/2019 09:07	62	198,4
12	20/09/2019 07:18	52	128

Tabela 4: Estatística descritiva dos parâmetros salinidade e temperatura, medidos no ponto P04, considerando todas as medições (N) feitas durante o período de execução de cada campanha

Campanha	Data	Salinidade (UPS)					Temperatura (°C)				
		Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	CV (%)	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	CV (%)
1	05/10/2018 N = 26	0,057	0,001	0,056	0,058	0,95	28,71	0,816	27,73	30,00	2,84
2	23/11/2018 N = 14	0,028	0,001	0,028	0,029	4,76	27,65	0,574	27,42	28,52	2,08
3	14/12/2018 N = 20	0,024	0,002	0,023	0,028	7,38	28,15	0,574	27,75	29,10	2,04
4	19/01/2019 N = 16	0,028	0,002	0,025	0,030	6,66	30,36	0,530	30,25	31,19	1,75
5	14/02/2019 N = 22	0,029	0,001	0,028	0,030	2,31	29,89	0,330	29,69	30,24	1,10
6	15/03/2019 N = 18	0,027	0,001	0,026	0,029	3,68	31,12	0,777	30,74	32,37	2,50
7	12/04/2019 N = 21	0,039	0,001	0,038	0,040	1,41	29,54	0,480	28,34	30,11	1,62
8	17/05/2019 N = 32	0,040	0	0,039	0,040	0,92	26,05	0,222	25,79	26,35	0,85
9	14/06/2019 N = 35	0,039	0	0,039	0,04	0,66	25,55	0,36	24,9	25,93	1,41
10	19/07/2019 N = 24	0,044	0	0,043	0,044	0,4	21,20	0,513	20,65	22,11	2,42
11	16/08/2019 N = 44	0,047	0	0,047	0,047	0,48	21,83	0,592	21,26	23,00	2,71
12	20/09/2019 N = 41	0,048	0	0,048	0,049	0,53	27,08	1,098	25,52	28,93	4,06

3.1.1.3 Estação P26

Foram feitos monitoramentos de salinidade e temperatura no trecho final do rio Doce, entre a foz e a seção transversal localizada aproximadamente 5 km a montante da mesma, em diferentes horários, para avaliação de intrusão salina no rio (Figura 6). As medições foram realizadas de forma a abranger períodos de marés enchentes e vazantes.

Figura 6: Locais de monitoramento de salinidade e temperatura, próximo à foz do rio Doce, com indicação da seção (ADCP) onde são medidos fluxos d'água.



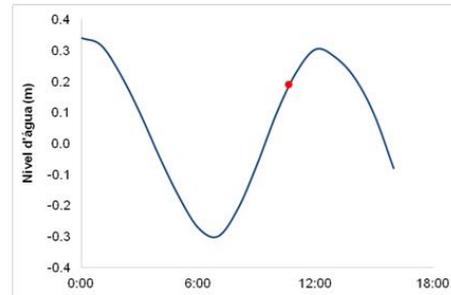
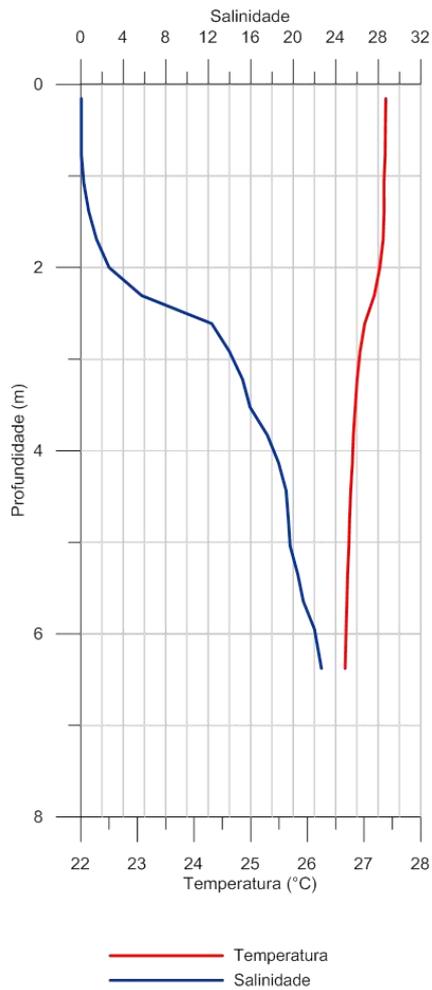
Os resultados das medições feitas no P26 e imediações não demonstraram influência da maré nas cinco primeiras campanhas. A partir da campanha de março/2019 (maré de quadratura), observou-se represamento do fluxo durante maré enchente, mas não houve inversão de fluxo nem presença de água salobra. Na Tabela 5 são apresentados valores médios de salinidades e temperatura para os pontos que apresentaram valores de salinidade correspondentes aos de água doce em todas as campanhas. Nas campanhas 8 a 12, meses maio a setembro de 2019, pontos apresentaram estratificação, no trecho final do rio, em alguns horários de maré. Por este motivo os valores medidos relativos a estes pontos não foram incluídos na referida tabela, sendo apresentados separadamente a seguir.

Tabela 5: Estatística descritiva dos parâmetros salinidade e temperatura, medidos no ponto P26 e imediações, considerando todas as medições (N) feitas durante o período de execução de cada campanha.

Campanha	Data Hora	Salinidade (UPS)					Temperatura (°C)				
		Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	CV (%)	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	CV (%)
1	02/10/2018 N = 15	0,104	0,021	0,094	0,179	20,29	28,17	0,209	27,50	28,50	0,74
2	20/11/2018 N = 50	0,029	0,003	0,026	0,039	9,16	27,63	0,137	27,33	27,90	0,50
3	11/12/2018 N = 48	0,025	0,001	0,023	0,029	5,05	26,75	0,565	25,94	27,48	2,11
4	31/01/2019 N = 32	0,033	0,008	0,028	0,068	24,27	30,74	0,874	29,30	31,90	2,84
5	11/02/2019 N = 34	0,030	0,004	0,027	0,041	12,09	31,19	0,906	29,54	32,08	2,90
6	12/03/2019 N = 42	0,032	0,006	0,028	0,054	18,25	31,61	1,415	29,66	33,24	4,47
7	09/04/2019 N = 24	0,038	0,001	0,036	0,041	3,59	30,24	0,777	29,27	31,40	2,57
8	14/05/2019 N = 62	0,041	0,003	0,039	0,050	6,06	27,70	0,791	26,55	29,14	2,85
9	11/06/2019 N = 52	0,044	0,003	0,041	0,050	6,70	24,70	1,28	23,31	26,33	5,19
10	16/07/2019 N = 61	0,086	0,067	0,046	0,320	78,66	25,10	0,633	23,59	26,09	2,52
11	13/08/2019 N = 72	0,080	0,080	0,05	0,44	95,03	26,08	0,860	23,82	27,29	3,30
12	17/09/2019 N = 34	0,09	0,047	0,05	0,17	50,34	26,95	1,193	25,1	28,24	4,43

Em maio/2019 foi observada presença de água salobra (salinidade máxima de 22,6), em ponto localizado na foz do rio Doce, durante maré enchente (Figura 7).

Figura 7: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 14/05/2019, para diferentes níveis d'água.



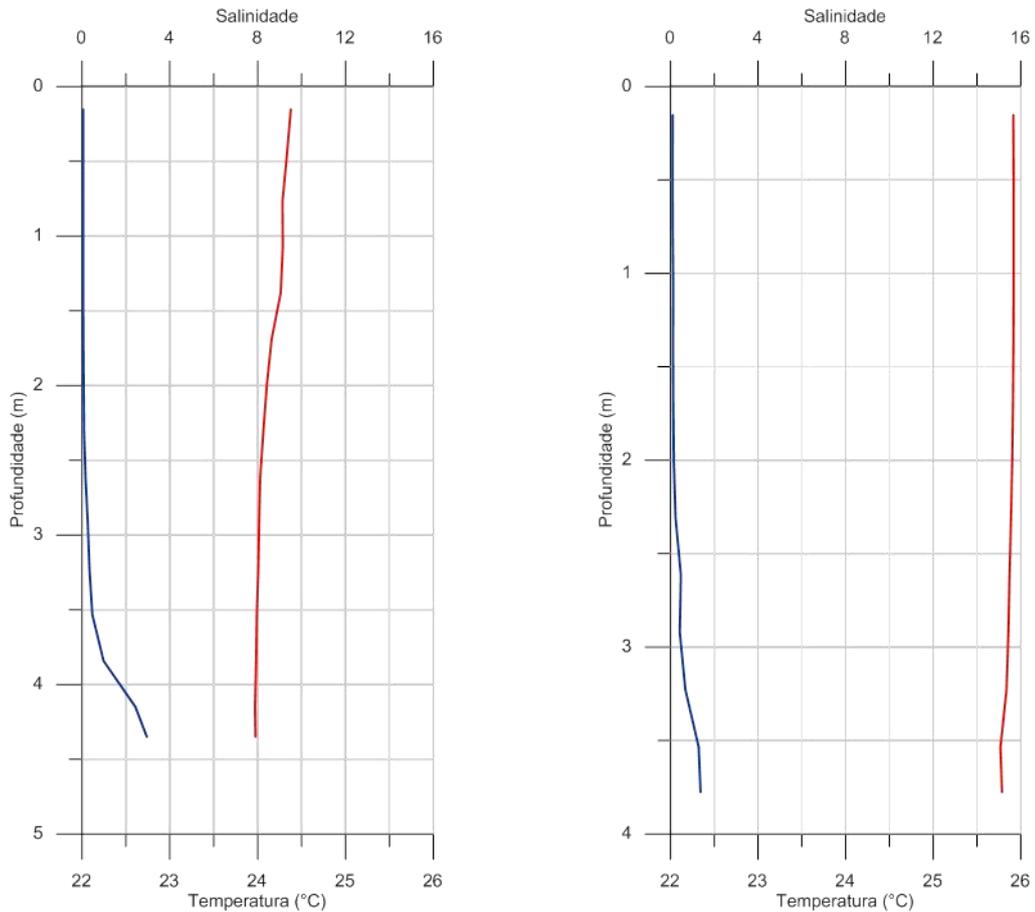
Indicação do horário da medição em relação à maré



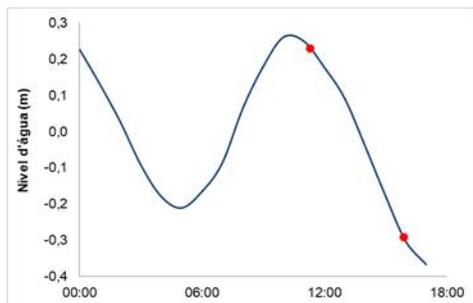
Indicação do local da medição

Em junho/2019 foi observada presença de água salobra (salinidade máxima de 2,9), em medições feitas durante a maré vazante (maré de quadratura) (Figura 8), em ponto localizado na foz do rio Doce.

Figura 8: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 11/06/2019, para diferentes níveis d'água.



— Temperatura
— Salinidade



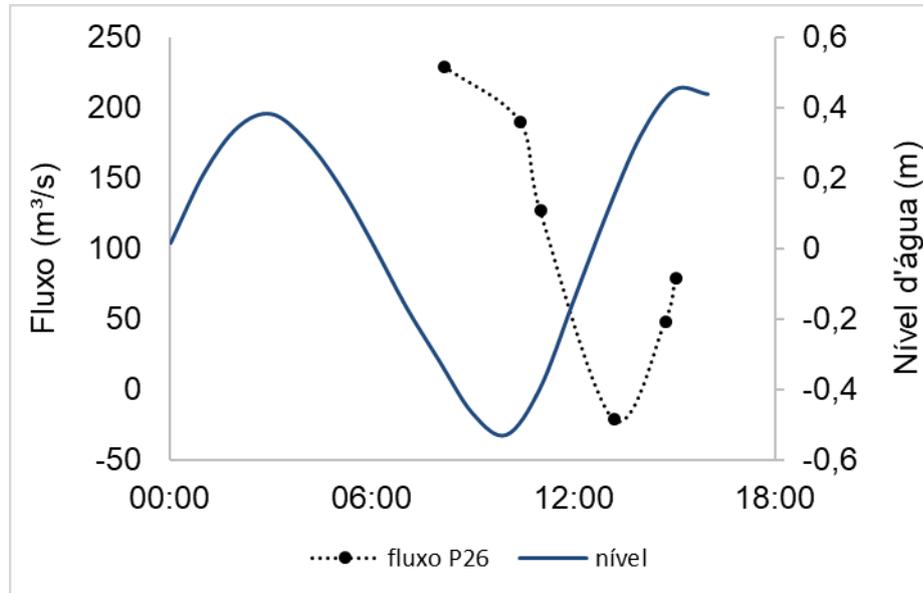
Indicação dos horários das medições em relação à maré



Indicação do local da medição

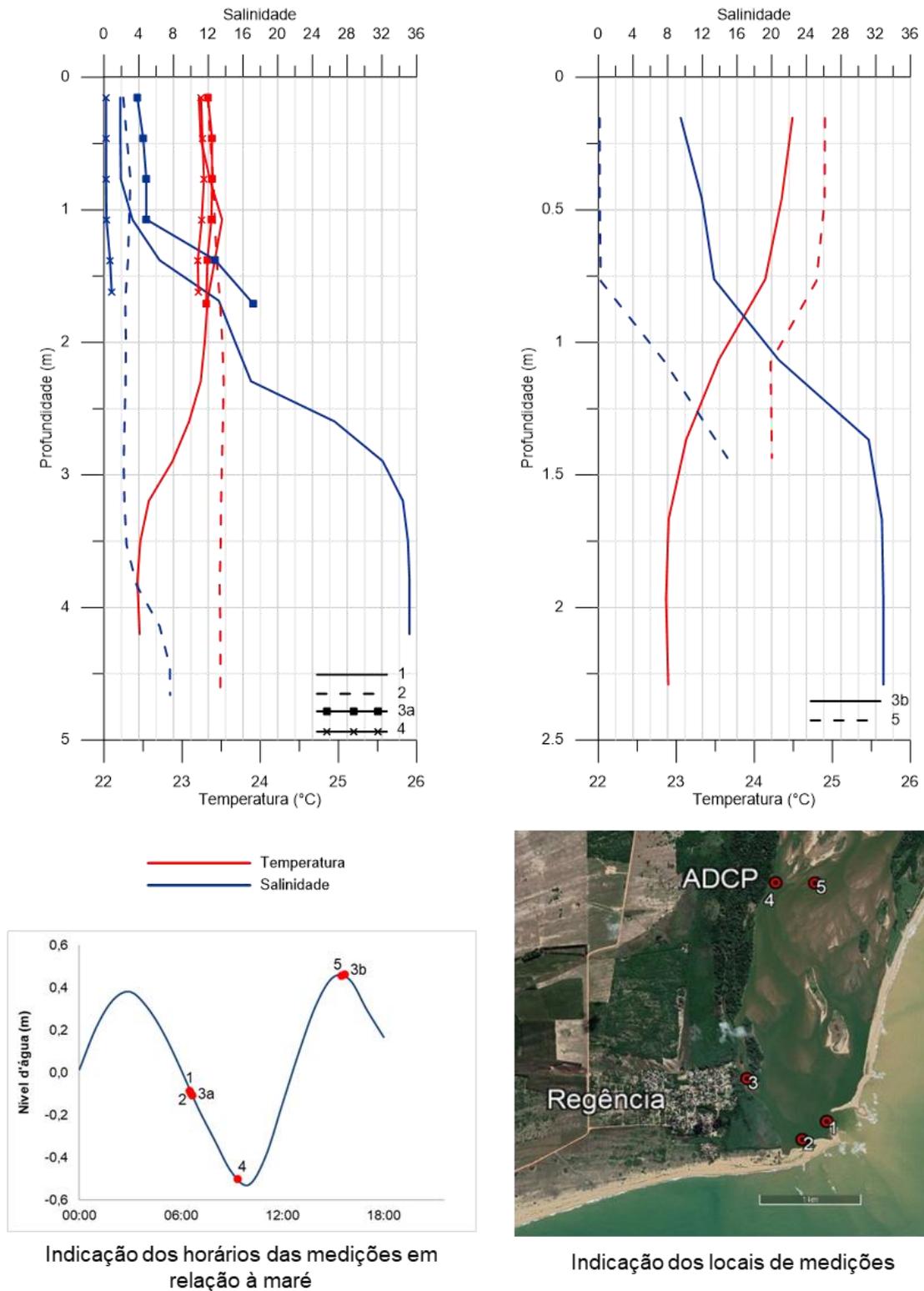
Na campanha de julho/2019 (maré de sizígia), foi observada inversão de fluxo durante a maré enchente (valor negativo mostrado na Figura 9).

Figura 9: Níveis e fluxos d'água medidos na campanha de julho/2019.



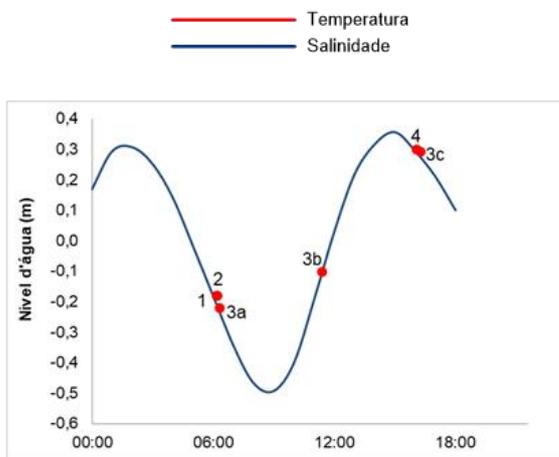
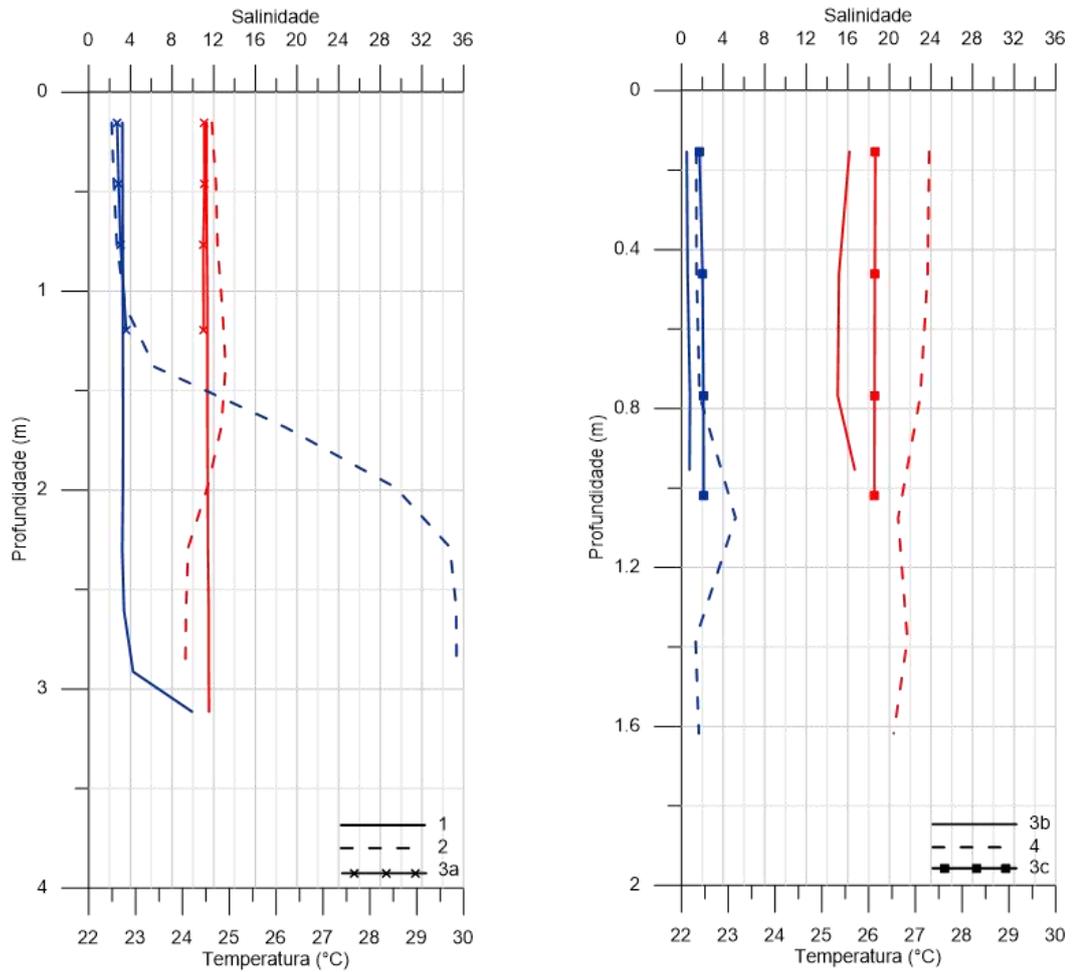
A Figura 10 apresenta os perfis de temperatura e salinidade para os pontos onde foi observada água salobra ao longo da coluna d'água na campanha de julho/2019. Assim, os pontos de medição cujos valores de salinidade foram correspondentes aos de água doce não estão apresentados na Figura 10. Em pontos localizados em regiões mais internas do rio, porém próximas ao local de medição de fluxo (indicado na figura como ADCP), localizado aproximadamente a 2600 m a montante da foz do rio Doce, foi observada presença de água salobra. O ponto 4 apresentou salinidade próxima à de água doce, com valor máximo de 0,9 (baixa-mar). No ponto 5 apresentou salinidade com valor máximo 14,9 (preamar). No ponto 3 foi observada estratificação com salinidades máximas 17,1 (vazante) e 32,9 (preamar).

Figura 10: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 16/07/2019, para diferentes níveis d'água.



A Figura 11 apresenta os perfis de temperatura e salinidade dos pontos onde foi observada água salobra ao longo da coluna d'água, para a campanha realizada em agosto/2019 (maré de sizígia). Nesta campanha foi observada alguma estratificação apenas em pontos a jusante do local de medição de fluxo (indicado na figura como ADCP). O ponto 2, junto à foz do rio, apresentou maior estratificação com salinidade máxima de 35,3 na vazante. Os demais pontos da Figura 11 apresentaram água salobra.

Figura 11: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 13/08/2019, para diferentes níveis d'água.



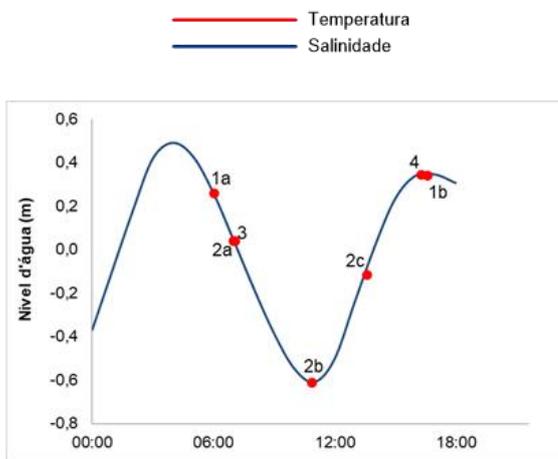
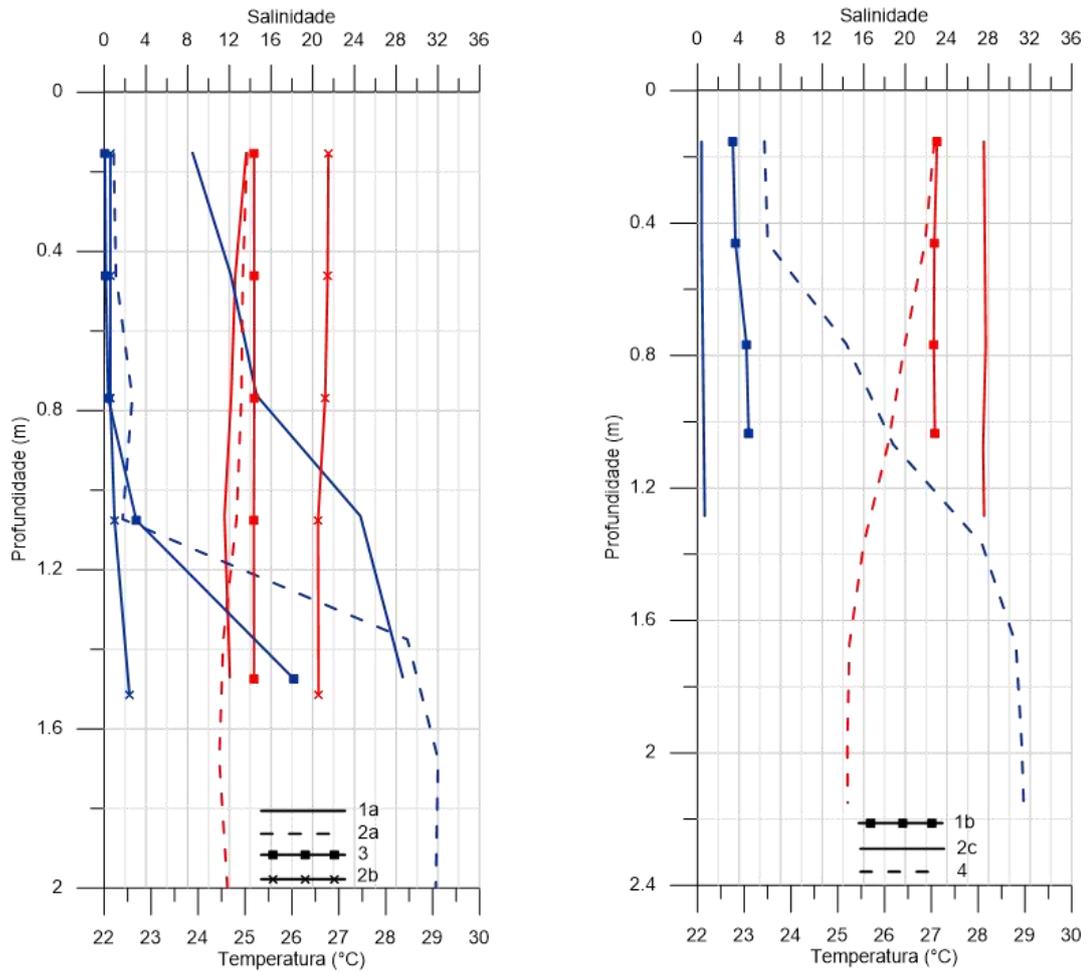
Indicação dos horários das medições em relação à maré



Indicação dos locais de medições

A Figura 12 apresenta os perfis de temperatura e salinidade dos pontos onde foi observada água salobra ao longo da coluna d'água, para a campanha de setembro/2019 (maré intermediária). No ponto 1 foi observada estratificação (salinidade máxima 28,6) nos dois horários indicados na figura, porém, mais significativa no início da maré vazante. O ponto 4 apresentou estratificação (salinidade máxima 31,3) próximo à preamar. Nos pontos 2 e 3, próximos ao local de medição de fluxo (indicado na figura como ADCP), aproximadamente 2600 m a montante da foz do rio Doce, foi observada salinidade máxima 31,8.

Figura 12: Salinidade e temperatura medidas próximo à foz do rio Doce (P26) em 17/09/2019, para diferentes níveis d'água.



Indicação dos horários das medições em relação à maré



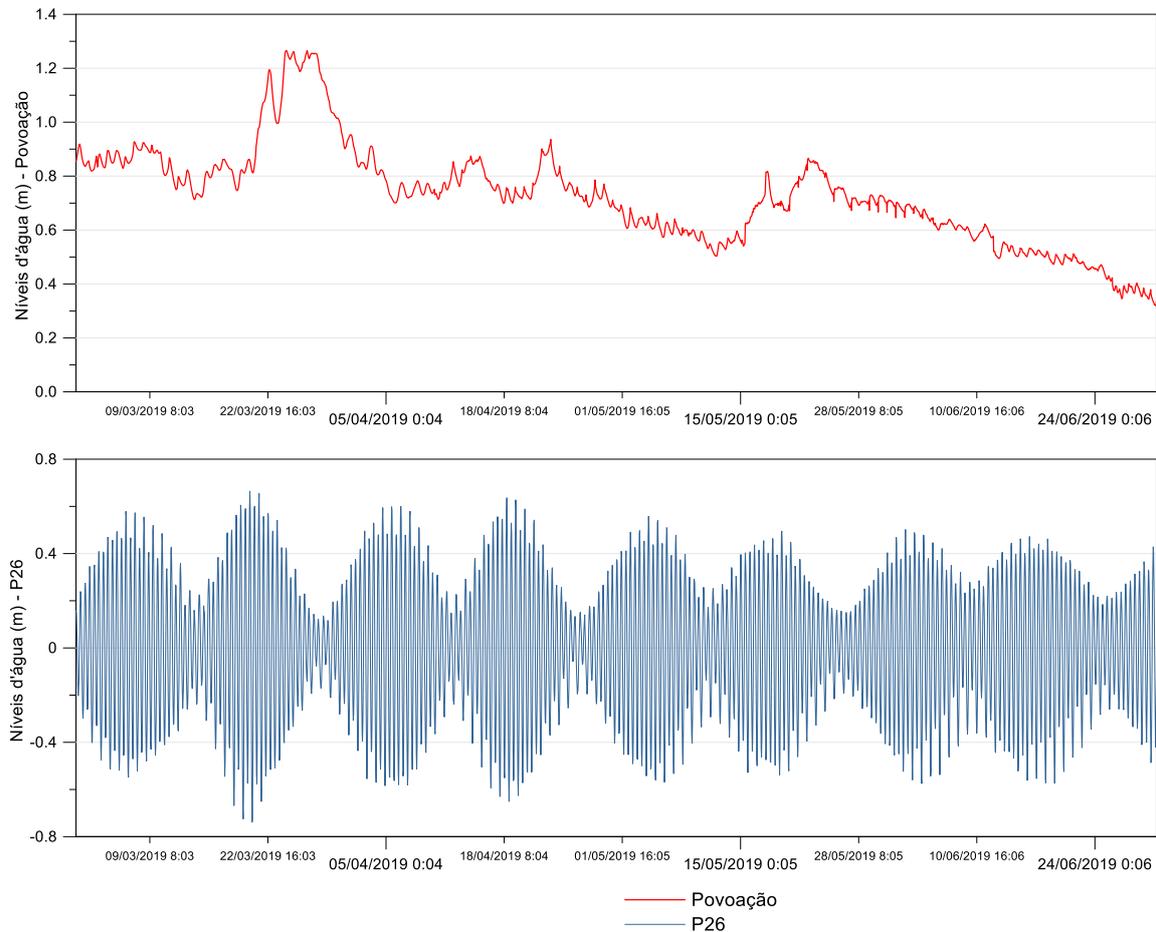
Indicação dos locais de medições

Assim, condições de baixas vazões do rio, associadas sobretudo com marés de sizígia, possibilitaram a presença de água salobra e alguma estratificação, influenciando o trecho final do rio, em medições realizadas até aproximadamente 2600 m a montante da foz.

O trecho final do rio apresentou fluxo unidirecional nas campanhas de período chuvoso. A partir de março/2019 foram observados represamentos de fluxo d'água durante as enchentes das marés, e em julho/2019 foi medida pequena inversão de fluxo na seção P26. Cabe ressaltar que o sensor de nível d'água do ponto P26 está instalado próximo à foz (Regência), sendo suas medições influenciadas pelo regime de marés.

Dados de níveis d'água registrados na localidade de Povoação não apresentaram influência das marés. Na Figura 13 são apresentados gráficos de níveis d'água obtidos nessa localidade e na foz do rio Doce (P26). Para o período de monitoramento, observou-se que mesmo com a redução dos níveis d'água e ocorrência de marés de sizígia não houve influência da maré em Povoação. Os níveis d'água de Povoação estão referenciados ao zero da régua limnimétrica instalada no local, e níveis d'água do P26 estão referenciados ao nível médio do mar local.

Figura 13: Níveis d'água medidos no rio Doce, no período de 01/03/2019 a 30/06/2019, em Povoação (referência de nível local) e em Regência (P26) (NMM local).



3.1.2 Fluxos de Sedimentos

Nos dois pontos onde é feito monitoramento sedimentométrico, P21 e P22, as características dos sedimentos suspensos se apresentaram próximas. No P21, considerando as 12 campanhas, as amostras apresentaram, em média, 49,4% de siltes (0,004 a 0,0624 mm), 35,3% de argilas (< 0,004 mm) e 15,3% de areias (0,0625 a 1,000 mm). No ponto P22, considerando as sete campanhas realizadas, as amostras apresentaram, em média, 52,7% de siltes (0,004 a 0,0624 mm), 36,5% de argilas (< 0,004 mm) e 13,8% de areias (0,0625 a 1,000 mm).

O sedimento de fundo se apresentou predominantemente composto por areias, correspondendo a 92% das amostras coletadas, nas seções monitoradas, ou seja, não indicando deposição significativa de sedimentos finos nestas seções, mesmo em baixas vazões.

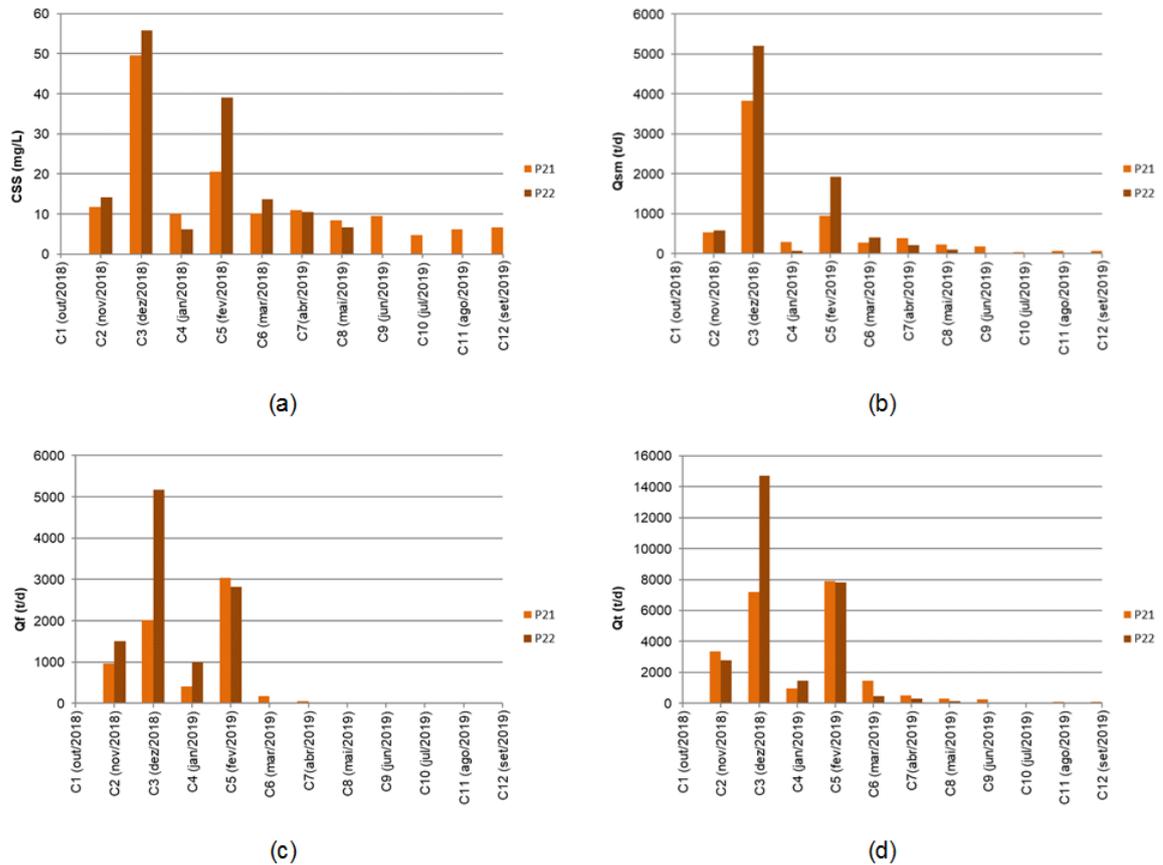
Concentrações de sedimentos suspensos e vazões apresentaram valores relacionados, ou seja, valores maiores de vazões corresponderam a valores maiores de concentrações de sedimentos suspensos (CSS) e descargas sólidas em suspensão (Qsm), de fundo (Qf) e total (Qt) (Figura 14).

Nas campanhas de maio a setembro de 2019, para o P21, e abril e maio de 2019, para o P22, as estimativas de descargas sólidas de fundo foram nulas. Por este motivo não foi possível usar o método de Einstein modificado para estimativa de descargas sólidas totais. Nesses casos, as estimativas de descargas totais foram obtidas considerando os valores médios das faixas de 65 a 90% da descarga de sedimentos suspensos, na data de cada campanha.

Nos meses de junho a setembro não foi possível fazer medições no P22 por impossibilidade de navegação.

Cabe observar que as descargas sólidas nestas seções representam a totalidade do aporte de sedimentos do rio Doce para a região adjacente à sua foz, em Regência. Ressalta-se que não há séries históricas de descargas sólidas para as seções monitoradas, o que torna muito importante o monitoramento contínuo desta variável.

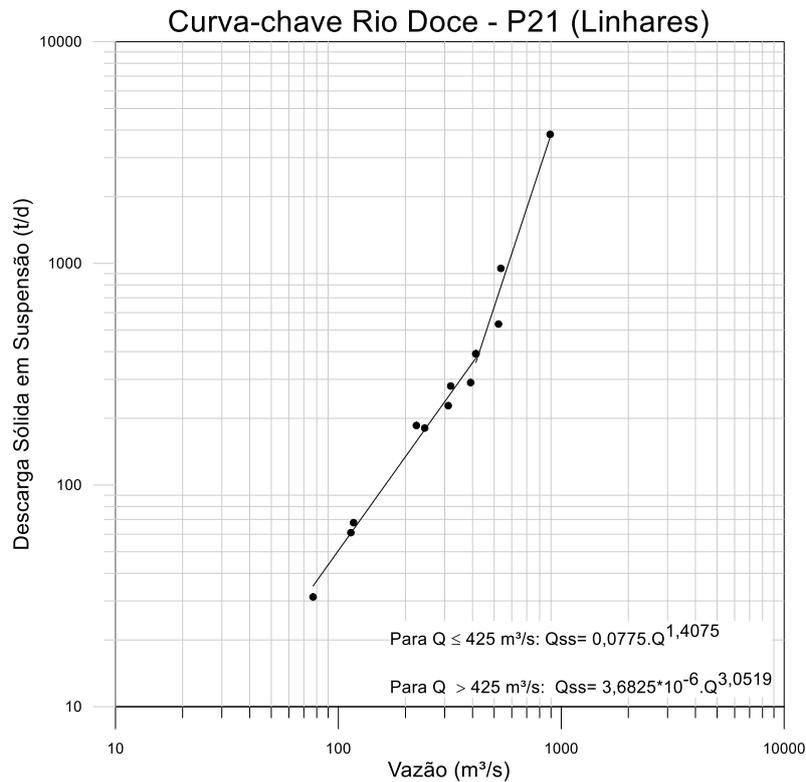
Figura 14: Resumo sedimentométrico dos dados medidos no Rio Doce nos pontos P21 e P22. (a) Concentração de sedimentos suspensos (CSS); (b) Descarga sólida de sedimentos em suspensão (Qsm); (c) Descarga sólida de sedimentos de fundo (Qf); (d) Descarga sólida total de sedimento (Qt)



3.1.2.1 Estação P21

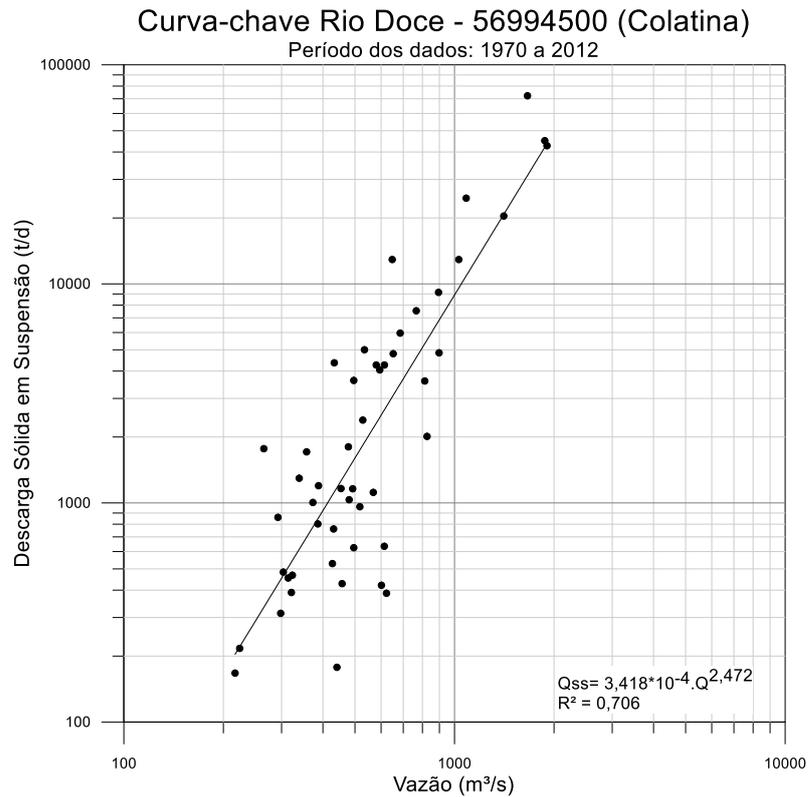
Para o ponto P21, localizado em Linhares, foram traçadas curvas de descargas de sedimentos suspensos, considerando as 12 campanhas realizadas (Figura 15). Como são poucas medições, e obtidos em época de vazões relativamente baixas e muito baixas, considera-se que estas curvas retratam uma situação particular, de estiagem na bacia. A partir destas curvas foram feitas estimativas de descargas sólidas de sedimentos suspensos horárias.

Figura 15: Curva-chave de sedimentos suspensos no P21, obtida com dados do PMBA.



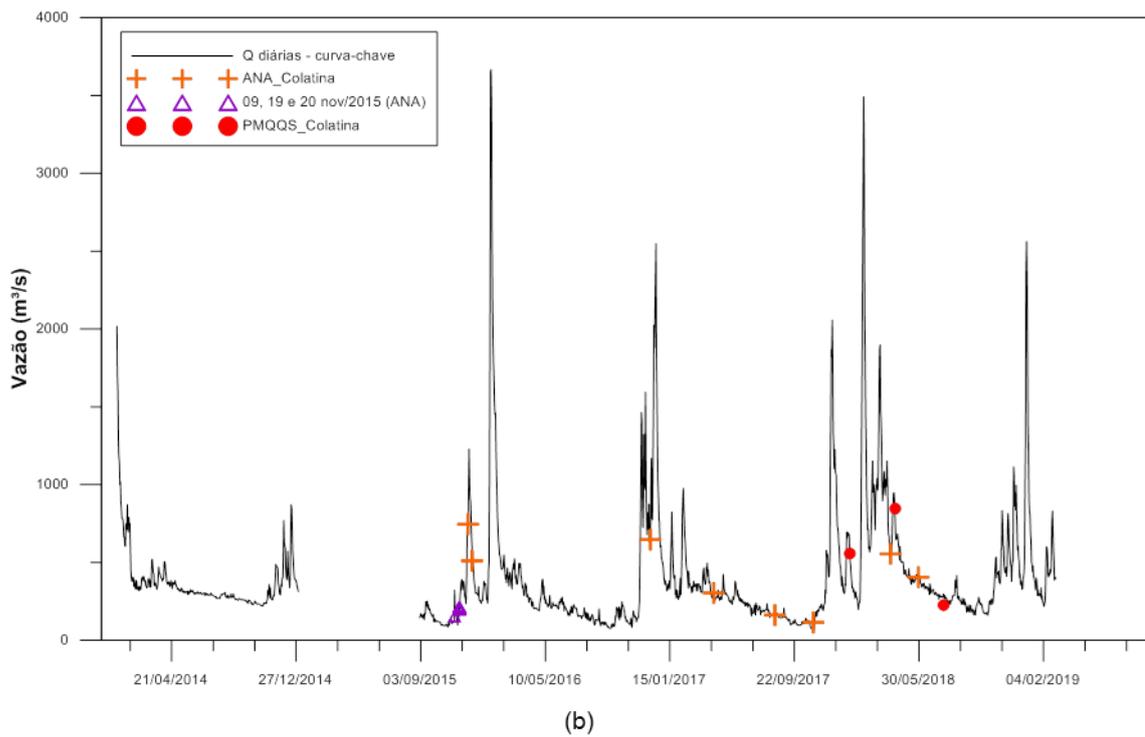
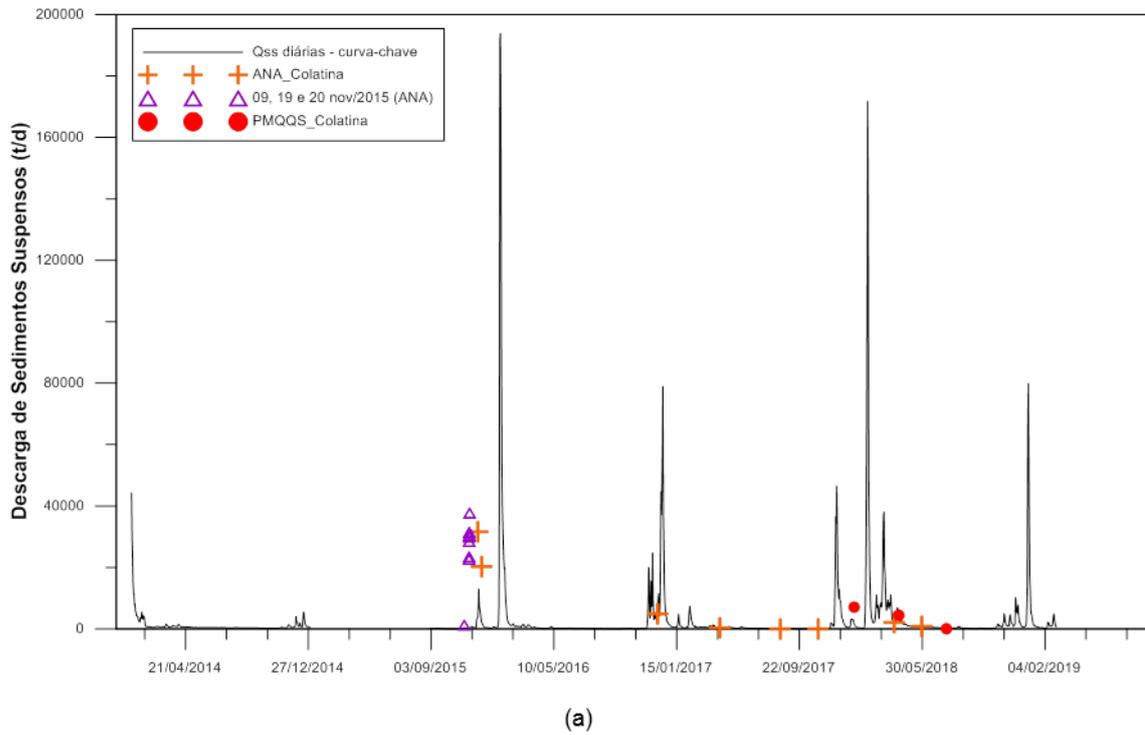
Com finalidade de comparação com os valores obtidos neste estudo, foram obtidas descargas sólidas de sedimentos suspensos diárias, estimadas com a curva-chave de sedimentos suspensos ajustada para estação Ponte (556994500), operada pela ANA, localizada em Colatina (Figura 16). Essas descargas foram comparadas com as medidas no período do rompimento da barragem de Fundão pela ANA (CPRM, 2016), e com as monitoradas posteriormente no âmbito do PMQQS (PMQQS, 2018), em Colatina.

Figura 16: Curva chave de sedimentos suspensos da estação 56994500 (ANA – Colatina).



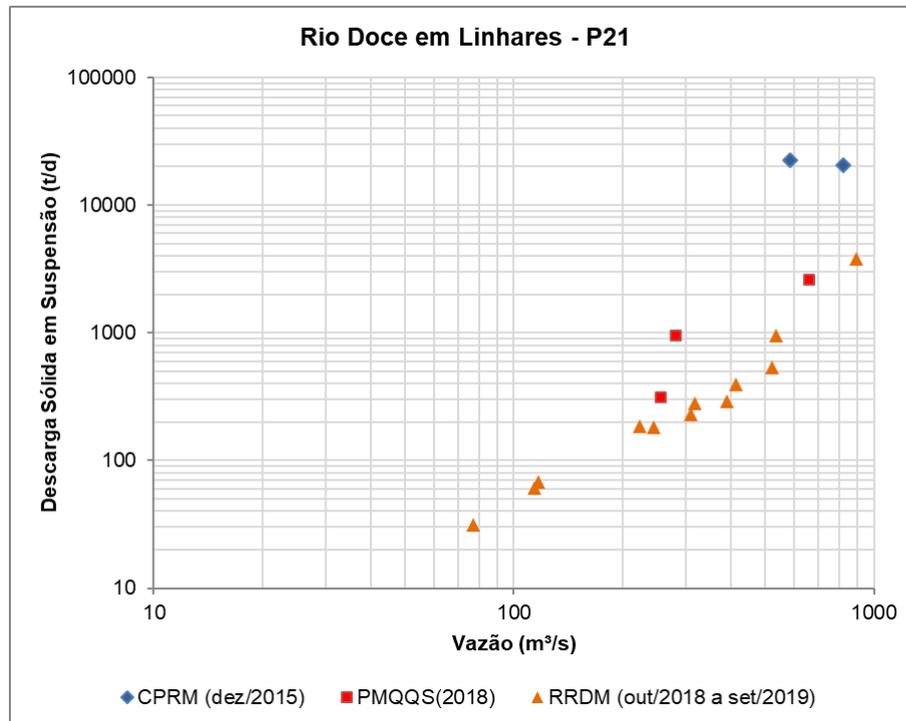
Conforme apresentado na Figura 17, as descargas medidas em novembro/2015, em Colatina, foram muito superiores às estimadas com a curva-chave de sedimentos. Após esse período, os máximos de descargas de sedimentos suspensos observados estiveram mais relacionados com máximos de vazões.

Figura 17: Descargas de sedimentos suspensos (a) e vazões (b) em Colatina.



Como a seção de Linhares (P21) passou a ser monitorada a partir de outubro de 2018, não há série histórica para comparação. Na Figura 18 são apresentados resultados de medições realizadas nessa seção no âmbito do PMBA, além dos dados obtidos pela CPRM (2015) e PMQQS (2018). Os valores relativamente baixos, obtidos em 2018 e 2019, refletem a condição de estiagem que ocorre na bacia do rio Doce.

Figura 18: Descargas de sedimentos suspensos no rio Doce em Linhares – P21



As vazões sólidas totais que afluem ao trecho estudado do rio Doce podem ser muito maiores em situações de cheia do que os apresentados em períodos de relativamente baixas vazões, como o correspondente ao período 2015 a 2019, não somente devido ao aumento do transporte de sedimentos suspensos, mas também pelo aumento do transporte de fundo. Para o período monitorado, os meses de novembro-dezembro/2018 e janeiro-março/2019 corresponderam às descargas sólidas de fundo e totais mais altas. No período de maio/2019 a setembro/2019, o uso do método de Einstein modificado indicou estimativas de descargas de fundo nulas (período de vazões muito baixas). Nesses casos, foram feitas estimativas das descargas totais considerando que 65 a 90% da descarga total corresponde à parcela de sedimentos suspensos (CARVALHO, 2008) (Tabela 6).

Tabela 6: Descargas sólidas estimadas no rio Doce, em Linhares, ponto P21.

Campanha	Mês	Vazão (m ³ /s)	Descarga sólida em suspensão (t/d)	Descarga sólida de fundo (t/d)	Descarga sólida total (t/d)
1	Out/2018	244	181	24	240
2	Nov/2018	523	533	972	3.358
3	Dez/2018	891	3.823	2.023	7.213
4	Jan/2019	392	290	404	960
5	Fev/2019	536	951	3.031	7.886
6	Mar/2019	319	280	178,8	1.447,9
7	Abr/2019	414	391	56,7	518
8	Mai/2019	311	228	0	302,1
9	Jun/2019	224	186	0	246,1
10	Jul/2019	77	31	0	41,5
11	Ago/2019	114	61	0	80,8
12	Set/2019	117	68	0	89,7

A Tabela 7 apresenta estimativas de descargas sólidas no rio Doce, em seção transversal localizada em Linhares, no monitoramento realizado pelo PMQQS, em campanhas realizadas nos meses janeiro, abril e julho/2018. Pode ser observado que a estimativa de descarga sólida de fundo, para campanha de abril/2018 apresentada na Tabela 7, foi muito inferior às estimadas no presente estudo para valores de mesma faixa de vazões.

Tabela 7: Estimativas de descargas sólidas no rio Doce, em Linhares, utilizando método de Einstein.

Mês	Vazão (m ³ /s)	Descarga sólida em suspensão (t/d)	Descarga sólida de fundo (t/d)	Descarga sólida total (t/d)
Jan/2018	281,6	949	4	987
Abr/2018	659,6	2.622	143	2.960
Jul/2018	256,5	312	2	352

Fonte: PMQQS (2018).

3.1.2.2 Estação P22

Na seção de medição P22, localizada mais próxima à foz do rio Doce, as medições de fluxos de água e sedimentos foram feitas entre os meses de novembro/2018 e maio/2019 (Tabela 8). Nos demais meses as medições não foram realizadas devido às condições de navegação ou impossibilidade de acesso à seção de medição.

Tabela 8: Maiores valores de descargas sólidas estimadas no rio Doce, em Linhares, ponto P22.

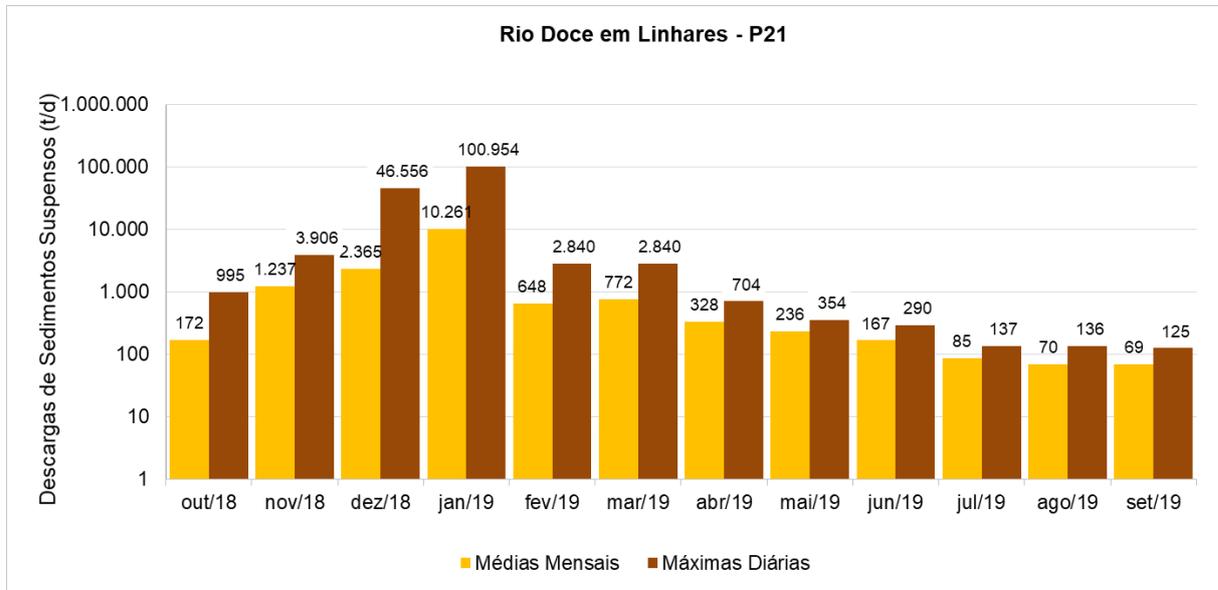
Campanha	Mês	Vazão (m ³ /s)	Descarga sólida em suspensão (t/d)	Descarga sólida de fundo (t/d)	Descarga sólida total (t/d)
2	Nov/2018	473	580	1.500	2.777
3	Dez/2018	1.078	5.206	5.177	14.717
4	Jan/2019	138	73	997	1.442
5	Fev/2019	572	1.928	2.817	7.807

Lima et al. (2005) apresentaram estudo de fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas brasileiras, inclusive a bacia do rio Doce. Segundo esse estudo, esta apresentou descarga sólida em suspensão específica média de 148 t.km⁻².ano⁻¹.

Segundo Souza e Knoppers (2003), os rios Jequitinhonha, Mucuri, Doce e Paraíba do Sul são os principais responsáveis pela carga de sedimentos em suspensão que aporta à Zona Costeira Leste do Brasil. De acordo com esse estudo, entre esses rios, o Mucuri apresenta a maior produção específica de sedimentos em suspensão, 220 t.km⁻².ano⁻¹, seguido pelo rio Doce com 110 t.km⁻².ano⁻¹.

Os resultados obtidos nas 12 campanhas de monitoramento do PMBA (Figura 19) corresponderam a estimativas de descargas médias de sedimentos suspensos variando de 85 t/d, em julho/2019, a 10.147 t/d, no mês de janeiro/2019. A descarga máxima diária estimada, com uso de curva-chave de sedimentos, foi 100.954 t/d, em 02/01/2019.

Figura 19: Descargas de sedimentos suspensos (médias mensais e máximas diárias) no rio Doce em Linhares – P21, estimadas de outubro/2018 a setembro/2019.



Cabe observar que nessas estimativas foram consideradas apenas descargas dos sedimentos suspensos na coluna d'água. Desse modo, os valores podem ser significativamente superiores quando consideradas as parcelas transportadas junto ao fundo.

Tendo em vista a importância do monitoramento do fluxo de sedimentos para maior compreensão do ambiente e de impactos sobre outros aspectos abióticos e aspectos bióticos, sugere-se que na revisão do PMQQS, prevista para 2019, seja feita uma integração entre a equipe do PMBA e a equipe executante do PMQQS, de forma a verificar procedimentos de coleta, análises laboratoriais e equações utilizadas nas estimativas de descargas.

4 REFERÊNCIAS

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

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Acompanhamento da estiagem na região sudeste do Brasil**. Boletim nº 05. Maio, 2018.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Monitoramento especial da bacia do rio Doce**. Relatório I. Dezembro, 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Monitoramento especial da bacia do rio Doce**. Relatório IV. Maio, 2016.

Lima, J. E. F. W., Lopes, W. T. A., Carvalho, N. O., Vieira, M. R., Silva, E.M., 2005. Suspended sediment fluxes in the large river basins of Brazil. **IAHS-AISH Publication 291**, 355-363.

PMQQS – Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento [online] Mensagem pessoal enviada para autor. 06 de Maio de 2019.

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. **Hidroweb**. 2019.

SOUZA, WLF, KNOPPERS, B. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre tipologia e as pressões antrópicas. **Geochim. Brasil.**, 17(1)057-074. 2003.