



**CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

**MONITORAMENTO ESPECIAL DA BACIA DO RIO DOCE**

**RELATÓRIO 01: Acompanhamento da onda de cheia**

**Primeira Campanha de Campo**

**BELO HORIZONTE  
DEZEMBRO/2015**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**Ministro de Estado**

Carlos Eduardo de Souza Braga

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**Diretor Presidente**

Manoel Barretto da Rocha Neto

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Stênio Petrovich Pereira

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Roberto Ventura Santos

**Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento**

Antônio Carlos Bacelar Nunes

**Diretor de Administração e Finanças**

Eduardo Santa Helena

**Chefe do Departamento de Hidrologia**

Frederico Cláudio Peixinho

**Chefe do Departamento de Gestão Territorial**

Jorge Pimentel

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE**

**Superintendente Regional**

Marcelo de Araújo Vieira

**Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

Márcio de Oliveira Cândido

**Gerente de Geologia e Recursos Minerais**

Marcio Antônio da Silva

**Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento**

Frederico André Favre

**Gerente de Administração e Finanças**

Cléria Sebastiana Vieira

## **CRÉDITOS**

**Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial** – Márcio de Oliveira Candido

### **Equipe Técnica**

**Supervisora de Hidrologia** - Elizabeth Guelman Davis

### **Equipe de Escritório**

Alice Silva de Castilho; Artur José Soares Matos; Breno Guerreiro da Motta; Marlon Marques Coutinho

Alessandro José da Silva; Amanda Santos Socorro; Emerson Silva Martins; José Geraldo Alves Franco

### **Equipe de Campo**

Alexandre Henrique, Emília Yumi Kawaguchi, Fernando Silva Rego, Frederico Ernesto C. Carvalho, Gesler Ferreira, Helton Roberto Gomes de Sousa, José Júlio de Souza, Moacyr Francisco Cândido, Oscar João Reis Martinelli.

### **Equipe de Laboratório**

**Supervisora** - Magda Cristina Ferreira Pinto

Álvaro Cesar Elias Mendes, Denise Lemos Dias, Fernando Gusman Brandão, Renato Teles Souto, Ronan Sousa Oliveira

### **Capa**

Elizabeth Almeida Cadete Costa

---

## Sumário

1	Apresentação .....	5
2	Descrição das Atividades.....	6
2.1	Campanha de Campo .....	6
2.2	Passagem da onda de cheia .....	8
2.3	Passagem da massa de água com elevada turbidez .....	10
2.4	Análises de Laboratório.....	16
2.4.1	Granulometria .....	16
2.4.2	Concentração de Sedimentos em Suspensão .....	24
2.4.3	Estimativa da Descarga Sólida em Suspensão.....	26
3	Conclusões e Próximos Passos .....	29
4	Referências Bibliográficas .....	31

## 1 Apresentação

A barragem de rejeitos de mineração de ferro da Samarco rompeu no dia 05 de novembro de 2015. A partir desta data a CPRM, em conjunto com a ANA, elaboraram um programa de monitoramento na bacia visando o levantamento de dados e informações sobre o evento. Até o momento foram programadas as seguintes ações:

- **Operação do sistema de alerta de cheia da bacia do rio Doce 24h por dia** para acompanhamento da onda da cheia decorrente da ruptura da barragem com emissão de boletins diários para as autoridades competentes e usuários;
- **Calibração de modelo de previsão de Turbidez** na calha do rio Doce;
- **Primeira Campanha de campo de 07 a 23 de novembro de 2015**, pela equipe de Hidrologia, para acompanhamento da onda da cheia decorrente da ruptura da barragem até a foz do rio Doce, objeto deste relatório;
- **Segunda Campanha de campo de 12 a 23 de novembro de 2015**, pela equipe de Geoquímica, para coleta de amostras de água e sedimento de corrente, desde a área da barragem na bacia do rio Gualaxo Norte até a foz no rio Doce;
- **Terceira Campanha de campo de 24 de novembro a 10 de dezembro de 2015**, pela equipe de Geoquímica, para coleta de amostras diárias simultâneas de água para análise de parâmetros *in loco*, a cada dois dias para análise de água e a cada quatro dias para análise de sedimento de corrente, em 7 pontos da bacia desde a bacia do Gualaxo Norte até a foz do rio Doce;
- **Quarta Campanha de campo de 27 de novembro a 19 de dezembro de 2015**, pela equipe de Hidrologia, para realização de: medição de vazões, levantamento de perfil transversal, coleta dos parâmetros de QA ao longo da seção, amostragem de sedimentos em suspensão e de fundo nas estações fluviométricas da Rede Hidrológica Nacional-RHN, localizadas na calha do rio Doce;
- **Quinta Campanha de campo de 02 a 22 de dezembro de 2015**, pela equipe de Hidrologia, para manutenção dos equipamentos automáticos de medição do nível das estações fluviométricas da RHN - Rede Hidrológica Nacional utilizadas na operação do Sistema de Alerta de Enchentes localizadas na calha do rio Doce.

Na operação do Sistema de Alerta foram emitidos boletins diários de acompanhamento da passagem da onda resultante da ruptura da barragem para as autoridades competentes, os quais apresentam todas as informações levantadas em campo, bem como a previsão de turbidez para vários municípios da bacia, e podem ser acessados na página da CPRM pelo endereço eletrônico [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

O presente relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas durante a **Primeira Campanha de Campo**, apresentar os dados coletados e resultados das análises de laboratório, bem como interpretações destas análises.

## 2 Descrição das Atividades

### 2.1 Campanha de Campo

A campanha de campo foi realizada no período de 07 a 23 de novembro de 2015 com o objetivo de acompanhar a passagem da onda da cheia, bem como da água com elevada turbidez. Os pontos visitados estão apresentados na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1 – Pontos monitorados durante primeira campanha

Nome	Código	Latitude	Longitude	Data visita
Cachoeira dos Óculos	56539000	-19,7864	-42,4831	07/11/2015
Belo Oriente	56719998	-19,3275	-42,3972	07 e 08/11/2015
Governador Valadares	56850000	-18,8833	-41,9508	08, 09, 10, 11 e 12/11/2015
Tumiritinga	56920000	-18,9744	-41,6419	11/11/2015
Resplendor	-	-19,3250	-41,2529	12, 13, 15 e 16/11/2015
Baixo Guandu	-	-19,5062	-41,0139	16, 17 e 18/11/2015
Jusante UHE Mascarenhas em Ponte Fontinelli	-	-19,5107	-40,8578	17, 18 e 19/11/2015
Colatina	56994500	-19,5328	-40,6303	10, 18, 19 e 20/11/2015
Linhares	56998200	-19,4067	-40,0675	11, 20, 21, 22 e 23/11/2015
Povoação	-	-19,6117	-39,8011	23/11/2015

Para esta campanha foram mobilizadas 3 equipes de campo que estavam operando a RHN na bacia do rio Doce. A primeira equipe visitou as estações Cachoeira dos Óculos, Belo Oriente, Governador Valadares e Tumiritinga. A segunda equipe se juntou a primeira em Governador Valadares, visitando Tumiritinga, e as cidades de Conselheiro Pena, Galiléia, Resplendor, Itueta e Baixo Guandu. A terceira equipe se juntou a segunda visitando a jusante da usina de Mascarenhas e Colatina, concluindo os trabalhos em Linhares e Povoação.

As atividades realizadas foram:

- Coleta de amostras de água a 30 cm da superfície, de aproximadamente 400mL (procedimento executado por questões de segurança da equipe de campo durante a passagem da onda da massa de água com elevada turbidez);
- Análises de parâmetros de qualidade da água *in loco*: Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, pH, Temperatura e Turbidez.
- Leitura do nível do rio nas réguas linmétricas;
- Medição de vazão com equipamentos e métodos indiretos;
- Levantamento do perfil da linha d'água.

Durante o acompanhamento da onda de cheia, verificou-se que a velocidade de deslocamento da massa de água foi superior a do material em suspensão. Fato que provocou uma defasagem entre o pico da onda da cheia e o da água com elevada turbidez. Essa defasagem começou a ser percebida pela equipe de campo no trecho do rio Doce entre Belo Oriente e Governador Valadares, onde fica localizado o reservatório da UHE Baguari, e foi aumentando até chegar a foz do rio Doce, onde atingiu cerca de 10 dias de defasagem.

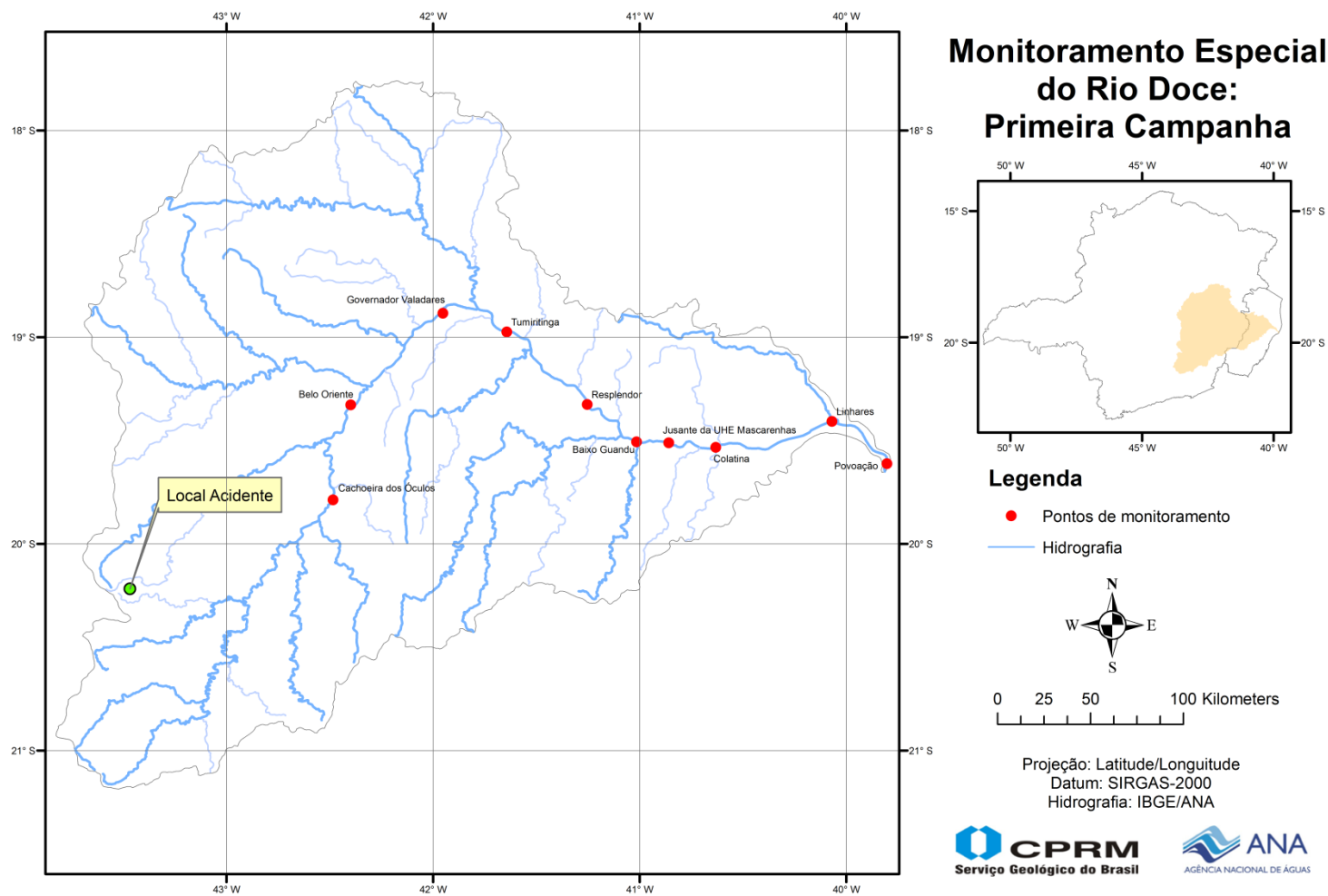


Figura 1 – Pontos monitorados durante primeira campanha



## 2.2 Passagem da onda de cheia

A onda de cheia resultante da ruptura da barragem de rejeito passou pelo rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo, e se deslocou ao longo da calha do rio Doce, onde as equipes de campo acompanharam o seu deslocamento, sendo os picos registrados conforme apresentado a seguir:

- UHE Risoleta Neves/Candongá (manhã do dia 06/11/15)
- Estação Cachoeira dos Óculos (manhã do dia 07/11/15) - 810m<sup>3</sup>/s
- Estação Belo Oriente (madrugada do dia 08/11/15) - 810m<sup>3</sup>/s
- UHE Baguari (tarde do dia 08/11/15) - 760m<sup>3</sup>/s
- Estação Governador Valadares (tarde do dia 08/11/15) – 585m<sup>3</sup>/s
- Estação Tumiritinga (entre a noite de 08/11/15 e madrugada de 09/11/2015)
- Estação de Colatina (na manhã do dia 10/11/15) – 401 m<sup>3</sup>/s (vazão medida em campo)
- Estação de Linhares (tarde do dia 10/11/15) – 295 m<sup>3</sup>/s (vazão medida em campo)

A título de comparação, os limiares de vazões ou cota que definem o estado de alerta e de inundação para fins de acompanhamento das cheias são, respectivamente, os seguintes:

- Governador Valadares – 1654 e 1877m<sup>3</sup>/s;
- Tumiritinga – 3320 e 3881 m<sup>3</sup>/s;
- Resplendor – 4940 e 5702 m<sup>3</sup>/s;
- Colatina – 4131 e 4796 m<sup>3</sup>/s;
- Linhares – 330 e 345cm.

Assim, verifica-se que os máximos registrados durante a passagem da onda de cheia decorrente da ruptura da barragem foram inferiores aos limiares de inundação, e portanto nestes municípios não foi registrada inundação decorrente da ruptura da barragem.

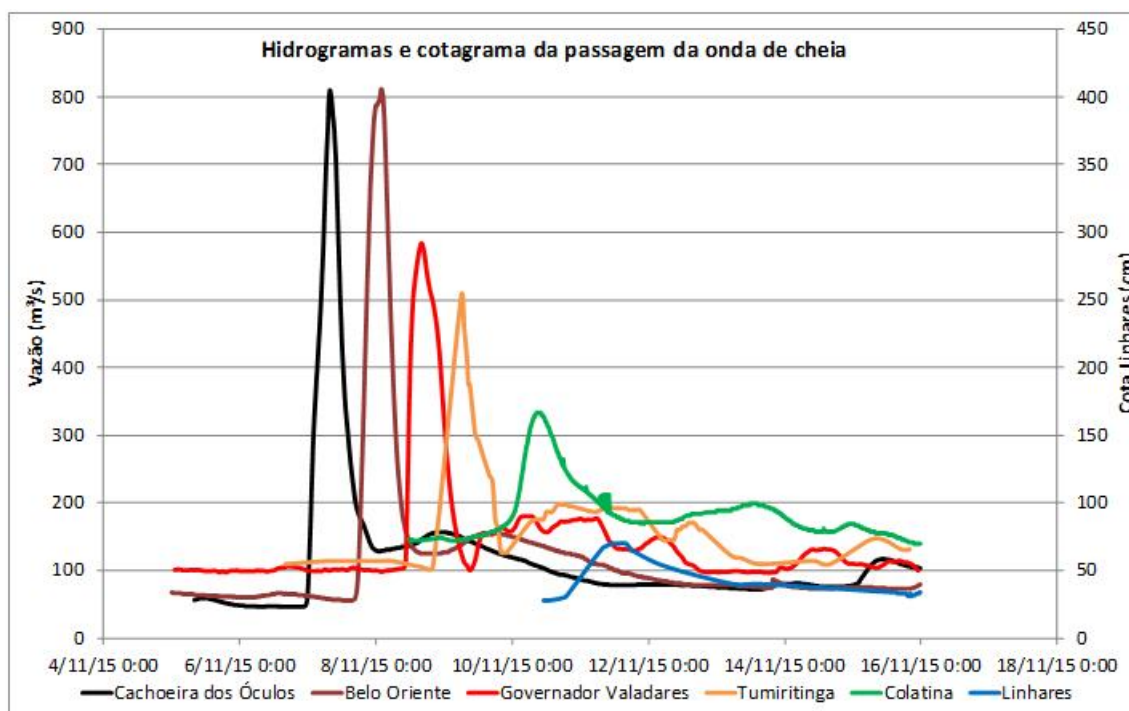


Figura 2: Hidrogramas monitorados das estações fluviométricas de: Cachoeira dos Óculos, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga, Colatina e cotagrama de Linhares.

Considerando-se que o nível do rio Doce estava muito baixo antes da ruptura da barragem, calcula-se por meio dos hidrogramas de vazões que o volume da onda de cheia decorrente da ruptura da barragem foi da ordem de 33Mm<sup>3</sup>, conforme descrito a seguir:

- Cachoeira dos Óculos – de 06/11 as 22:00 a 07/11 as 24:00
- Belo Oriente – de 07/11 as 16:00 a 08/11 as 16:00
- Governador Valadares – de 08/11 as 2:00 a 09/11 as 9:00
- Tumiritinga – de 08/11 as 20:00 a 09/11 as 20:00
- Colatina – de 09/11 as 20:00 a 11/11 as 12:30

A título de comparação os volumes dos reservatórios das hidrelétricas localizadas na calha principal do rio Doce entre a confluência com o rio do Carmo e a foz são:

- UHE Risoleta Neves – Candonga – 544Mm<sup>3</sup> ([www.candonga.com.br](http://www.candonga.com.br));
- UHE Baguari – 43,6Mm<sup>3</sup> ([www.uhebaguari.com.br](http://www.uhebaguari.com.br));
- UHE Aimorés – 185,2Mm<sup>3</sup> ([www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/nossos\\_negocios/usinas/Documents/livro\\_usinas.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/nossos_negocios/usinas/Documents/livro_usinas.pdf));
- UHE Mascarenhas – 51,8Mm<sup>3</sup> ([www.hidrotec.ufv.br/](http://www.hidrotec.ufv.br/)).

Além disso, segundo informações divulgadas na mídia, o volume das barragens Fundão e Santarém eram da ordem de 50Mm<sup>3</sup> antes da ruptura, passando este volume para 16Mm<sup>3</sup> após a ruptura.

### 2.3 Passagem da massa de água com elevada turbidez

O início da passagem da massa de água com elevada turbidez foi registrada em:

- Estação Belo Oriente (madrugada do dia 08/11/15).
- Usina de Baguari (manhã do dia 09/11/15).
- Estação Governador Valadares (noite do dia 09/11/15).
- Município de Tumiritinga (noite do dia 10/11/15).
- Município de Galiléia (manhã do dia 11/11/15).
- Município de Conselheiro Pena (noite do dia 11 para o dia 12/11/15).
- Município de Resplendor (final da tarde do dia 12/11/15).
- Município de Baixo Guandu (tarde do dia 16/11/15).
- Município de Colatina (manhã do dia 19/11/2015)
- Município de Linhares na manhã do dia 20/11/2015 foi observado, no centro do município, que a água do rio estava mais turva do que no dia anterior. No dia 21/11/15, pela manhã, a turbidez verificada pela equipe de campo foi superior a 2500 NTU
- Foz do rio Doce às 15 horas do dia 21/11/15.

Durante a passagem da onda de cheia e de massa d'água com elevada turbidez foram coletadas amostras, cujos parâmetros coletados *in loco* estão apresentados na Tabela 2. Os valores normalmente encontrados destes parâmetros na operação da RHN estão apresentados na Tabela 3.

Analisando os dados apresentados verifica-se que houve um aumento da turbidez e da condutividade elétrica e diminuição do oxigênio dissolvido com a chegada da água com elevada turbidez. No caso do pH e da temperatura não foram verificadas diferenças significativas.

Nas estações Cachoeira dos Óculos e Cenibra a turbidez atingiu valores da ordem de centenas de milhares de NTU. Em Governador Valadares a turbidez atingiu valores próximos a 120.000NTU, abaixo dos valores verificados nas estações a montante. Em Tumiritinga a turbidez atingiu valores da ordem de 80.000NTU. Já em Resplendor, Baixo Guandu, jusante da UHE Mascarenhas, Colatina, Linhares e Povoação, os valores máximos foram inferiores a 12.000NTU.

A diminuição significativa dos valores de turbidez entre Belo Oriente e Governador Valadares pode ser explicada pela existência do reservatório da UHE Baguari entre estes dois pontos de monitoramento. Já a diminuição entre Tumiritinga e Resplendor deve-se ao fato de Resplendor estar localizada no início do remanso do reservatório da UHE Aimorés. Em ambos os casos, a presença dos reservatórios diminui consideravelmente a velocidade do escoamento facilitando a decantação das partículas em suspensão e contribuindo para diminuição da turbidez.

Tabela 2 – Parâmetros coletados *in loco*

NOME	DATA	HORA	COTA (cm)	Temp(°C)	Condutividade Elétrica (µS)	pH	OD (mg/L)	%OD	Turbidez (NTU)
CACHOEIRA DOS ÓCULOS	07/11/2015	08:20	517	-	-	-	-	-	181.200
	07/11/2015	09:00	484	-	-	-	-	-	311.600
	07/11/2015	12:01	345	-	-	-	-	-	567.600
	07/11/2015	13:16	303	-	-	-	-	-	635.600
	07/11/2015	14:00	285	-	-	-	-	-	822.000
BELO ORIENTE (CENIBRA)	<b>07/11/2015</b>	<b>19:16</b>	<b>166</b>	-	<b>85</b>	<b>7,51</b>	<b>5,35</b>	-	<b>86</b>
	08/11/2015	07:23	226	25,0	281	7,42	-	-	414.800
	08/11/2015	08:00	203	26,8	281	7,59	-	-	430.000
	08/11/2015	09:00	184	28,5	274	7,61	-	-	446.800
	08/11/2015	10:00	171	27,6	282	7,72	-	-	326.000
GOVERNADOR VALADARES	<b>08/11/2015</b>	<b>10:50</b>	<b>94</b>	<b>33,7</b>	<b>104</b>	<b>7,79</b>	<b>5,38</b>	<b>76,7</b>	<b>2,62</b>
	<b>08/11/2015</b>	<b>12:25</b>	<b>148</b>	-	<b>106</b>	<b>7,72</b>	<b>6,15</b>	<b>87,8</b>	<b>52,2</b>
	<b>08/11/2015</b>	<b>13:30</b>	<b>180</b>	<b>32,2</b>	<b>108</b>	<b>7,59</b>	<b>5,87</b>	<b>75,0</b>	<b>144</b>
	<b>08/11/2015</b>	<b>14:25</b>	<b>192</b>	<b>31,3</b>	<b>106</b>	<b>7,87</b>	<b>5,06</b>	<b>66,5</b>	<b>57,8</b>
	<b>08/11/2015</b>	<b>15:25</b>	<b>198</b>	<b>31,1</b>	<b>108</b>	<b>7,67</b>	<b>5,14</b>	<b>67,4</b>	<b>89,5</b>
	<b>08/11/2015</b>	<b>16:25</b>	<b>202</b>	<b>32,5</b>	<b>107</b>	<b>7,85</b>	<b>5,06</b>	<b>70,6</b>	<b>31,1</b>
	<b>08/11/2015</b>	<b>18:30</b>	<b>199</b>	<b>31,2</b>	<b>103</b>	<b>7,57</b>	<b>4,25</b>	<b>59,1</b>	<b>103</b>
	<b>09/11/2015</b>	<b>17:00</b>	<b>113</b>	<b>32,0</b>	<b>98</b>	<b>7,80</b>	<b>4,97</b>	<b>68,2</b>	<b>7,14</b>
	10/11/2015	07:40	121	28,3	153	7,12	0,27	2,0	82.160
	10/11/2015	08:40	120	28,5	154	7,15	0,29	1,0	57.360
	10/11/2015	09:40	117	28,8	158	7,14	0,22	2,1	91.680
	10/11/2015	10:40	116	28,7	168	7,15	0,25	1,3	119.360
	10/11/2015	11:40	113	19,8	171	7,11	0,19	1,8	116.200
	10/11/2015	14:00	113	31,3	175	7,10	0,17	1,9	113.520
	10/11/2015	15:00	115	31,2	174	7,08	0,16	1,4	104.040
10/11/2015	16:00	116	31,3	174	7,09	0,20	1,4	64.160	
10/11/2015	17:00	116	30,9	169	7,02	0,20	2,1	93.960	

Tabela 2 – Parâmetros coletados *in loco*

NOME	DATA	HORA	COTA (cm)	Temp(°C)	Condutividade Elétrica (µS)	pH	OD (mg/L)	%OD	Turbidez (NTU)
GOVERNADOR VALADARES	10/11/2015	18:00	118	31,2	174	7,07	0,11	2,8	90.560
	11/11/2015	19:55	105	29,9	191	7,20	0,58	6,6	-
	12/11/2015	17:45	107	28,4	175	7,28	2,27	26,6	116.320
TUMIRITINGA	11/11/2015	09:30	64	30,6	103	7,14	5,09	65,0	2.243
	11/11/2015	10:30	65	29,7	107	7,01	4,67	60,5	3.368
	11/11/2015	11:30	66	29,6	113	6,96	4,38	57,8	5.932
	11/11/2015	13:00	66	30,7	112	6,99	4,33	51,1	5.572
	11/11/2015	14:00	66	31,1	118	6,95	3,56	48,0	8.440
	11/11/2015	15:00	66	32,4	123	6,91	2,93	39,9	9.160
	11/11/2015	16:00	66	33,2	130	6,86	1,54	20,2	13.680
	11/11/2015	17:00	66	32,7	143	6,86	0,21	2,3	27.260
	11/11/2015	18:00	65	31,9	147	7,00	0,31	35,0	49.460
	11/11/2015	10:10	54	28,7	184	7,08	0,81	8,1	75.880
RESPLENDOR (PONTE CENTRO)	<b>12/11/2015</b>	<b>15:10</b>	-	<b>34,4</b>	<b>101</b>	<b>8,02</b>	<b>7,12</b>	<b>100,0</b>	<b>23</b>
	<b>12/11/2015</b>	<b>19:00</b>	-	<b>31,5</b>	<b>100</b>	<b>7,97</b>	<b>6,36</b>	<b>79,4</b>	<b>29</b>
	13/11/2015	09:45	-	29,8	108	7,07	5,75	73,3	2.172
	13/11/2015	11:00	-	29,8	110	7,03	4,88	64,8	3.266
	13/11/2015	12:00	-	30,9	111	7,08	4,74	62,9	3.694
	13/11/2015	13:00	-	32,2	114	6,96	4,85	67,4	3.724
	13/11/2015	15:00	-	32,8	119	7,00	4,78	67,2	6.300
	13/11/2015	17:00	-	32,7	121	7,00	4,05	56,3	4.960
	13/11/2015	10:50	-	28,7	148	6,84	2,88	37,8	9.260
	13/11/2015	17:35	-	29,1	114	6,75	2,63	35,1	4.032
	15/11/2015	11:00	-	30,0	194	7,01	2,09	-	-
16/11/2015	08:30	-	27,9	114	7,34	5,47	69,3	-	
<b>BAIXO GUANDU - PONTE MAUÁ</b>	<b>16/11/2015</b>	<b>11:10</b>	-	<b>29,3</b>	<b>101</b>	<b>6,58</b>	<b>5,62</b>	<b>80,1</b>	<b>22,5</b>

Tabela 2 – Parâmetros coletados *in loco*

NOME	DATA	HORA	COTA (cm)	Temp(°C)	Condutividade Elétrica (µS)	pH	OD (mg/L)	%OD	Turbidez (NTU)
BAIXO GUANDU - PONTE MAUÁ	<b>16/11/2015</b>	<b>16:00</b>	-	<b>31,3</b>	<b>101</b>	<b>7,43</b>	<b>5,09</b>	<b>68,8</b>	<b>59,7</b>
	16/11/2015	17:00	-	30,2	101	7,20	5,71	74,3	265
	16/11/2015	18:00	-	29,9	101	7,24	5,69	79,4	482
	16/11/2015	19:00	-	29,5	102	6,98	4,93	69,0	752
	17/11/2015	08:20	-	28,0	126	6,62	3,75	-	8.420
	17/11/2015	10:30	-	28,4	129	6,93	4,79	62,3	8.620
	17/11/2015	11:30	-	29,0	130	6,81	3,50	44,8	9.720
	17/11/2015	13:00	-	30,0	133	6,81	3,79	50,8	9.160
	17/11/2015	14:00	-	29,0	135	6,80	4,10	53,1	10.180
	17/11/2015	15:00	-	28,6	131	6,92	3,87	50,0	9.740
	17/11/2015	20:30	-	-	143	6,74	3,18	40,8	11.400
	18/11/2015	09:00	-	28,5	139	6,34	3,61	46,4	11.620
PONTE FONTINELLI - JUSANTE DE MASCARENHAS	<b>17/11/2015</b>	<b>19:00</b>	-	<b>27,8</b>	<b>111</b>	<b>7,51</b>	<b>4,71</b>	<b>59,8</b>	<b>22</b>
	18/11/2015	10:00	-	28,5	111	6,66	6,09	81,6	2.640
	18/11/2015	12:00	-	29,5	111	6,74	5,82	76,0	3.120
	18/11/2015	14:00	-	29,5	113	6,49	6,19	68,5	4.120
	18/11/2015	16:00	-	29,3	113	6,48	4,39	59,2	4.760
	18/11/2015	18:00	-	29,0	113	6,52	5,66	66,3	4.840
	19/11/2015	08:30	-	28,7	121	6,54	5,09	77,5	8.600
COLATINA (PONTE)	<b>10/11/2015</b>	<b>07:00</b>	<b>150</b>	<b>28,0</b>	<b>114</b>	<b>7,02</b>	<b>5,08</b>	-	<b>23</b>
	<b>10/11/2015</b>	<b>08:00</b>	<b>154</b>	<b>28,0</b>	<b>121</b>	<b>7,10</b>	<b>4,48</b>	-	<b>25</b>
	<b>10/11/2015</b>	<b>09:00</b>	<b>156</b>	<b>28,0</b>	<b>108</b>	<b>7,21</b>	<b>8,07</b>	-	<b>28</b>
	<b>10/11/2015</b>	<b>11:00</b>	<b>156</b>	<b>28,0</b>	<b>108</b>	<b>7,19</b>	<b>7,80</b>	-	<b>23</b>
	<b>10/11/2015</b>	<b>12:00</b>	<b>154</b>	<b>28,5</b>	<b>115</b>	<b>7,22</b>	<b>7,64</b>	-	<b>14</b>
	<b>10/11/2015</b>	<b>13:00</b>	<b>152</b>	<b>29,0</b>	<b>107</b>	<b>7,22</b>	<b>5,78</b>	-	<b>11</b>

Tabela 2 – Parâmetros coletados *in loco*

NOME	DATA	HORA	COTA (cm)	Temp(°C)	Condutividade Elétrica (µS)	pH	OD (mg/L)	%OD	Turbidez (NTU)
COLATINA (PONTE)	10/11/2015	14:00	149	29,0	115	7,12	4,63	-	14
	10/11/2015	16:00	144	30,0	112	7,24	5,17	-	13
	18/11/2015	11:00	-	29,5	109	7,72	7,44	99,3	9
	19/11/2015	09:30	128	28,0	113	6,41	4,61	58,1	3.240
	19/11/2015	10:30	-	29,0	116	6,86	4,74	63,0	3.260
	19/11/2015	11:30	127	29,5	112	6,65	3,97	55,5	3.720
	19/11/2015	12:30	124	29,5	115	6,62	4,35	53,1	4.200
	19/11/2015	14:00	-	30,5	113	6,50	3,81	55,8	4.820
	19/11/2015	15:00	122	30,5	113	6,49	3,66	50,8	4.340
	19/11/2015	16:00	122	30,0	113	6,43	3,72	51,8	4.260
	19/11/2015	17:00	-	30,0	113	6,45	3,63	48,9	4.660
	19/11/2015	18:00	121	30,0	113	6,49	3,97	57,9	5.080
	20/11/2015	07:30	120	28,0	117	6,10	3,39	44,0	6.740
LINHARES	11/11/2015	09:00	67	28,0	105	6,76	5,32	-	10
	11/11/2015	10:00	68	28,3	106	7,30	5,44	-	30
	11/11/2015	11:00	69	28,8	107	7,15	5,89	-	122
	11/11/2015	12:00	70	29,0	105	7,41	7,62	-	51
	11/11/2015	13:00	70	30,4	104	7,49	7,52	-	31
	11/11/2015	14:00	69	29,3	106	7,57	6,44	-	31
	11/11/2015	15:00	69	29,5	107	7,63	5,62	-	35
	11/11/2015	17:00	68	30,0	104	7,56	7,62	-	14
	20/11/2015	16:00	48	30,0	109	7,48	4,74	85,9	474
	20/11/2015	18:30	48	30,0	110	7,47	5,27	72,5	818
	21/11/2015	08:00	51	27,5	111	7,10	4,64	57,3	2.960
	21/11/2015	20:00	49	27,0	112	6,97	4,54	59,0	5.680
23/11/2015	16:20	77	29,0	121	6,82	6,20	85,9	3.820	
POVOAÇÃO	21/11/2015	14:30	-	30,0	112	7,13	5,96	76,3	193

Tabela 2 – Parâmetros coletados *in loco*

<b>NOME</b>	<b>DATA</b>	<b>HORA</b>	<b>COTA (cm)</b>	<b>Temp(°C)</b>	<b>Condutividade Elétrica (µS)</b>	<b>pH</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>%OD</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
<b>POVOAÇÃO</b>	21/11/2015	15:30	-	30,0	112	7,36	4,97	69,0	346
<b>POVOAÇÃO</b>	21/11/2015	16:30	-	30,5	114	7,31	5,48	67,9	471
<b>POVOAÇÃO</b>	25/11/2015	08:40	-	27,0	122	7,15	4,67	56,7	2.460

Em negrito amostras coletadas antes da chegada da massa de água com elevada turbidez



Tabela 3 – Valores Característicos de parâmetros in loco das estações da RHN

Estações	Condut. Elétrica ( $\mu\text{S}$ )		OD (mg/L)		pH		Temperat. ( $^{\circ}\text{C}$ )		Turbidez <sup>(1)</sup> (NTU)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Cachoeira Óculos	33	64	5,6	9,2	6,1	7,8	19,0	29,0	2,0	43,0
Belo Oriente	20	80	5,9	8,5	5,2	7,6	19,0	27,0	11,0	67,0
Gov. Valadares	26	86	6,0	9,0	5,5	4,9	21,0	30,0	5,0	10,0
Tumiritinga	1	84	6,5	9,2	6,3	8,3	21,0	31,0	4,0	71,0
Resplendor	28	75	6,4	8,6	6,4	8,1	23,0	31,0	-	-
Colatina	38	96	6,8	9,1	6,2	8,0	20,0	30,0	-	-

(1) – Dados referentes a 2013

## 2.4 Análises de Laboratório

Com as amostras coletadas foram realizadas as seguintes análises de laboratório: granulometria e concentração de sedimentos em suspensão.

### 2.4.1 Granulometria

A Tabela 4 apresenta os diâmetros característicos dos sedimentos contidos nas amostras coletadas e a Tabela 5 apresenta classificação de sedimentos segundo granulometria. As Figuras 3 a 12 apresentam as curvas granulométricas por estação

Tabela 4 – Diâmetros Característicos

Nome	Data	Hora	Cota (cm)	D10% ( $\mu\text{m}$ )	D50% ( $\mu\text{m}$ )	D90% ( $\mu\text{m}$ )
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	08:20	517	3,378	11,499	55,362
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	09:00	484	3,873	17,819	103,470
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	12:01	345	3,891	21,310	132,636
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	13:16	303	3,816	20,604	131,596
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	14:00	285	3,768	19,483	110,950
Belo Oriente	08/11/2015	07:10	226	3,809	19,227	122,640
Belo Oriente	08/11/2015	08:00	203	3,716	17,925	110,508
Belo Oriente	08/11/2015	09:00	184	3,818	18,709	106,389
Belo Oriente	08/11/2015	10:00	171	3,613	15,589	98,779
Governador Valadares	10/11/2015	07:40	121	2,761	6,910	23,576
Governador Valadares	10/11/2015	08:40	119,5	2,754	6,738	20,211
Governador Valadares	10/11/2015	09:40	117,2	2,750	6,598	19,335
Governador Valadares	10/11/2015	10:45	115	2,766	6,843	21,810
Governador Valadares	10/11/2015	11:40	113,0	2,809	7,172	26,253
Governador Valadares	10/11/2015	14:00	113,2	2,660	6,591	20,864
Governador Valadares	10/11/2015	15:00	115	2,778	6,863	21,164
Governador Valadares	10/11/2015	16:00	159,0	2,564	6,774	28,620
Governador Valadares	10/11/2015	17:00	116,8	2,604	6,326	19,978
Governador Valadares	10/11/2015	18:00	117,8	2,719	6,567	19,317
<b>Governador Valadares</b>	<b>12/11/2015</b>	<b>07:45</b>	<b>107</b>	<b>2,203</b>	<b>5,309</b>	<b>16,693</b>
Tumiritinga	11/11/2015	09:30	64	3,737	8,851	19,314
Tumiritinga	11/11/2015	10:30	65	2,761	6,755	16,479
Tumiritinga	11/11/2015	11:30	66	3,233	8,853	21,165
Tumiritinga	11/11/2015	13:00	66	2,889	7,616	18,767

Tabela 4 – Diâmetros Característicos

Nome	Data	Hora	Cota (cm)	D10% ( $\mu\text{m}$ )	D50% ( $\mu\text{m}$ )	D90% ( $\mu\text{m}$ )
Tumiritinga	11/11/2015	15:00	66	2,968	8,987	23,563
Tumiritinga	11/11/2015	16:00	66	2,661	7,083	18,680
Tumiritinga	11/11/2015	17:00	66	2,799	6,423	16,041
Tumiritinga	11/11/2015	18:00	65	2,645	6,138	16,152
<b>Tumiritinga</b>	<b>12/11/2015</b>	<b>11:10</b>	<b>54</b>	<b>2,437</b>	<b>5,655</b>	<b>15,247</b>
Resplendor	13/11/2015	09:45	-	4,033	10,626	24,249
Resplendor	13/11/2015	11:00	-	3,495	8,247	18,145
Resplendor	13/11/2015	12:00	-	4,025	9,970	21,152
Resplendor	13/11/2015	13:00	-	3,770	9,264	20,233
Resplendor	13/11/2015	15:00	-	3,145	7,890	17,991
Resplendor	13/11/2015	17:00	-	3,087	8,616	21,710
Resplendor	14/11/2015	10:50	-	2,706	6,953	18,324
Resplendor	14/11/2015	17:35	-	3,807	8,583	18,479
<b>Resplendor</b>	<b>15/11/2015</b>	<b>11:00</b>	-	<b>1,020</b>	<b>3,768</b>	<b>12,238</b>
<b>Resplendor</b>	<b>16/11/2015</b>	<b>10:00</b>	-	<b>0,847</b>	<b>3,196</b>	<b>7,958</b>
Baixo Guandu	17/11/2015	08:20	-	1,385	4,962	17,430
Baixo Guandu	17/11/2015	10:30	-	1,143	4,172	12,822
Baixo Guandu	17/11/2015	11:30	-	1,051	3,940	12,893
Baixo Guandu	17/11/2015	13:00	-	1,036	3,866	13,786
Baixo Guandu	17/11/2015	14:00	-	1,223	4,597	15,996
Baixo Guandu	17/11/2015	15:00	-	1,108	4,145	14,673
<b>Baixo Guandu Pte Mauá</b>	<b>17/11/2015</b>	<b>20:30</b>	-	<b>0,888</b>	<b>3,250</b>	<b>8,556</b>
<b>Baixo Guandu Pte Mauá</b>	<b>17/11/2015</b>	<b>20:45</b>	-	<b>0,544</b>	<b>2,228</b>	<b>7,399</b>
<b>Baixo Guandu</b>	<b>18/11/2015</b>	<b>09:00</b>	-	<b>0,931</b>	<b>3,383</b>	<b>9,364</b>
Colatina	19/11/2015	09:30	-	1,761	7,094	26,656
Colatina	19/11/2015	10:30	-	1,487	5,399	24,703
Colatina	19/11/2015	11:30	-	1,677	6,094	20,014
Colatina	19/11/2015	14:00	-	1,498	5,593	21,726
Colatina	19/11/2015	15:00	-	1,737	6,822	22,903
Colatina	19/11/2015	16:00	-	1,713	6,753	24,355
Colatina	19/11/2015	17:00	-	1,511	5,534	20,404
Colatina	19/11/2015	18:00	-	1,560	5,788	23,815
<b>Colatina</b>	<b>20/11/2015</b>	<b>07:30</b>	-	<b>0,998</b>	<b>3,712</b>	<b>12,838</b>
Ponte Fontineli	18/11/2015	12:00	-	1,654	6,286	20,142
Ponte Fontineli	18/11/2015	14:00	-	1,467	5,234	21,076
Ponte Fontineli	18/11/2015	18:00	-	1,660	6,103	20,860
<b>Ponte Fontineli</b>	<b>19/11/2015</b>	<b>08:30</b>	-	<b>1,067</b>	<b>3,906</b>	<b>14,722</b>
Linhares	21/11/2015	08:00	-	1,783	6,785	22,500
Linhares	21/11/2015	20:00	-	1,424	5,130	17,883
Povoação	21/11/2015	16:30	-	1,342	15,533	102,91

Em negrito amostras coletadas após a passagem do pico da massa de água com elevada turbidez

Tabela 5 – Classificação granulométrica da American Geophysical Union

Diâmetro (mm)	Denominação
64 a 32	Cascalho muito grosso
32 a 16	Cascalho grosso
16 a 8	Cascalho médio
8 a 4	Cascalho fino
4 a 2	Cascalho muito fino
2,00 a 1,00	Areia muito grossa
1,00 a 0,50	Areia grossa
0,50 a 0,25	Areia média
0,25 a 0,125	Areia fina
0,125 a 0,0625	Areia muito fina
0,0625 a 0,031	Silte grosso
0,031 a 0,016	Silte médio
0,016 a 0,008	Silte fino
0,008 a 0,004	Silte muito fino
0,004 a 0,0020	Argila grossa
0,0020 a 0,0010	Argila média
0,0010 a 0,0005	Argila fina
0,0005 a 0,00024	Argila muito fina



## Curvas granulométricas - Cachoeira dos óculos 07/11/15

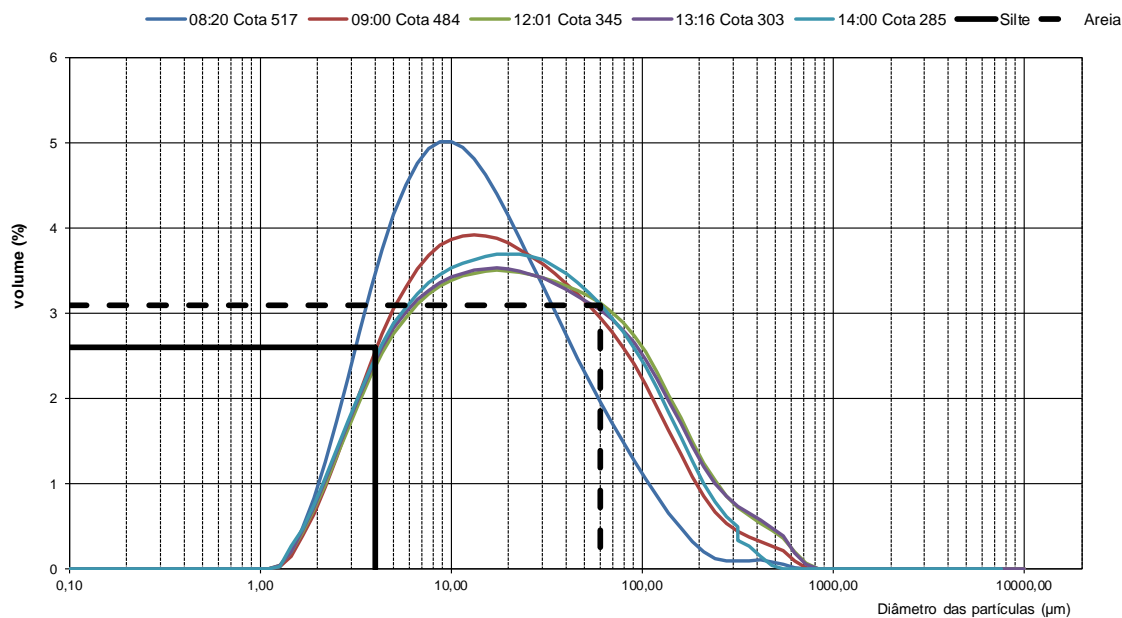


Figura 3 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Cachoeira dos Óculos



Curvas Granulométricas - Belo Oriente 08/11/2015

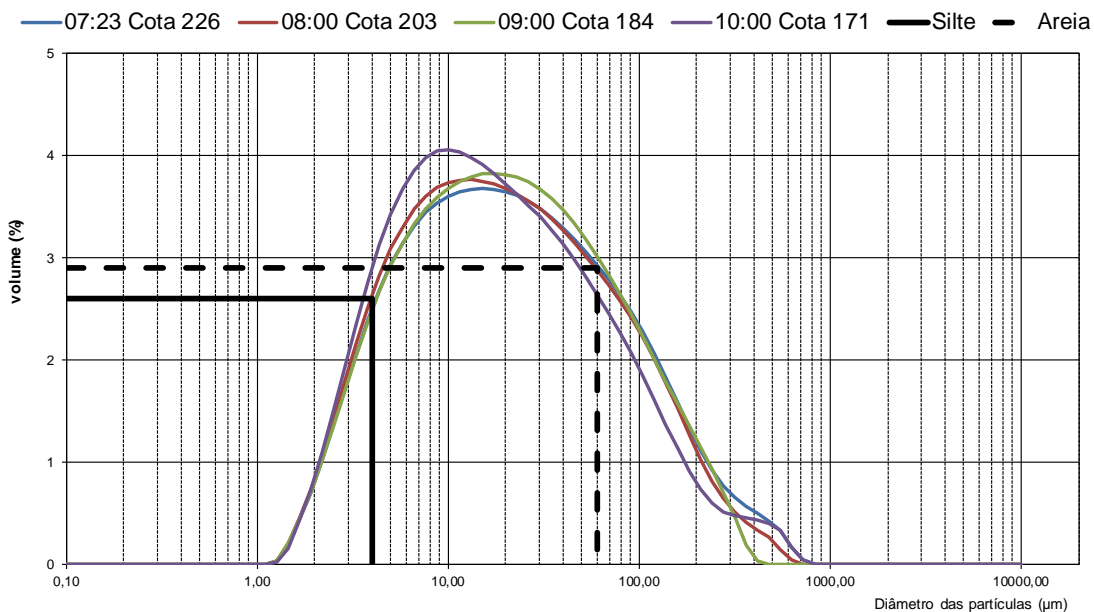


Figura 4 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Belo Oriente



Curvas Granulométricas - Governador Valadares 10/11/15

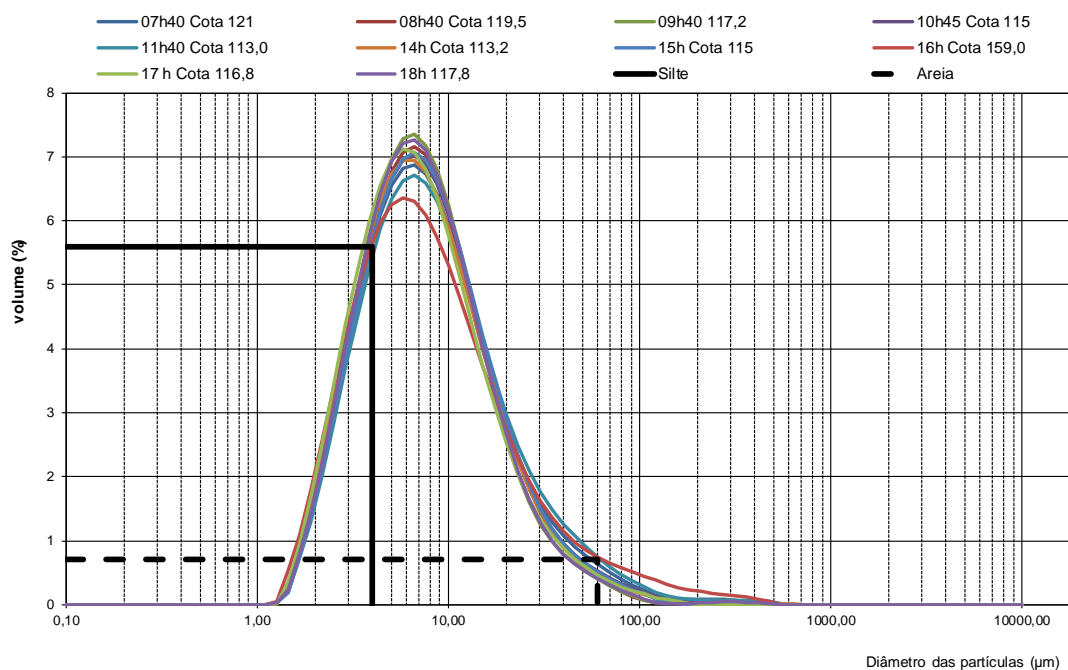


Figura 5 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Governador Valadares



### Curvas de distribuição de tamanho de partículas Tumiritinga

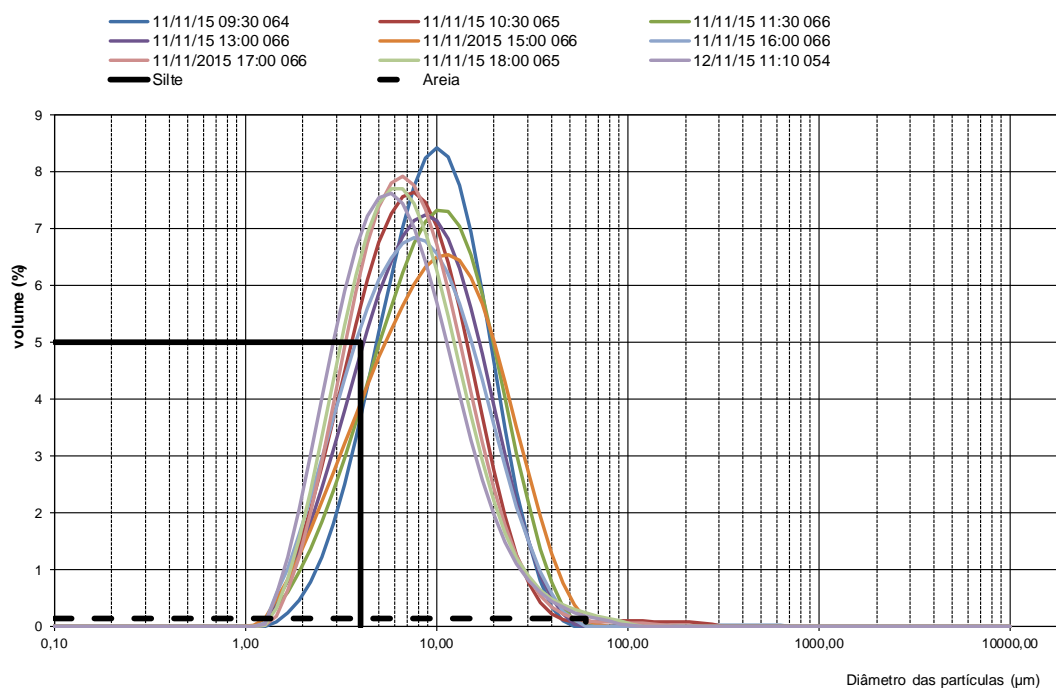


Figura 6 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Tumiritinga



### Curvas de distribuição de tamanho de partículas Resplendor

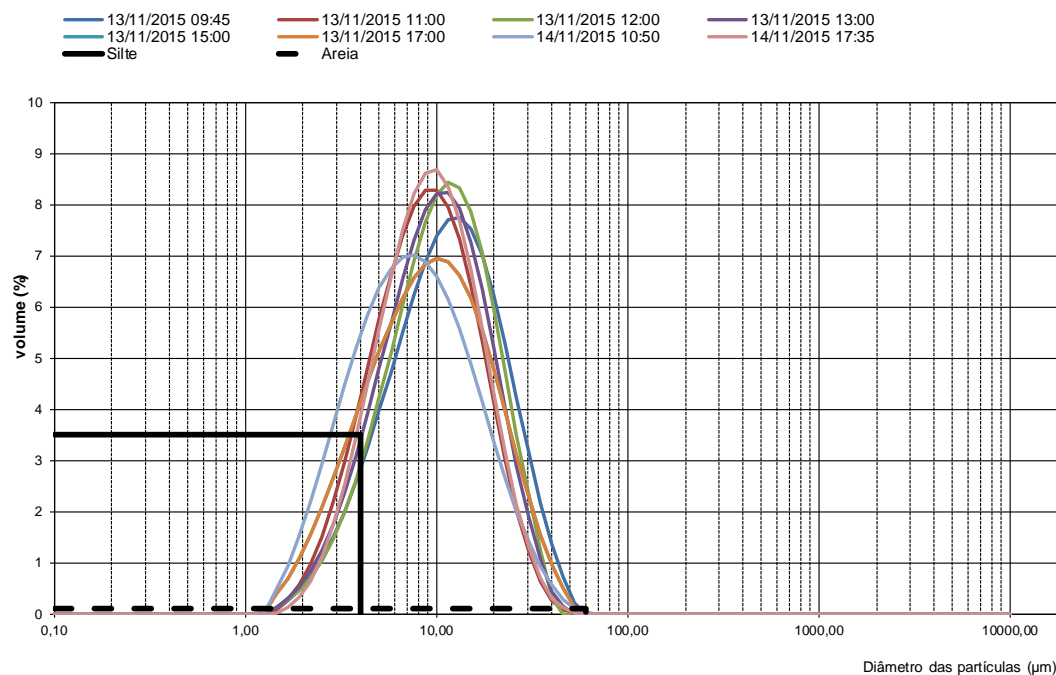


Figura 7 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Resplendor



## Curvas Granulométricas - Baixo Guandu

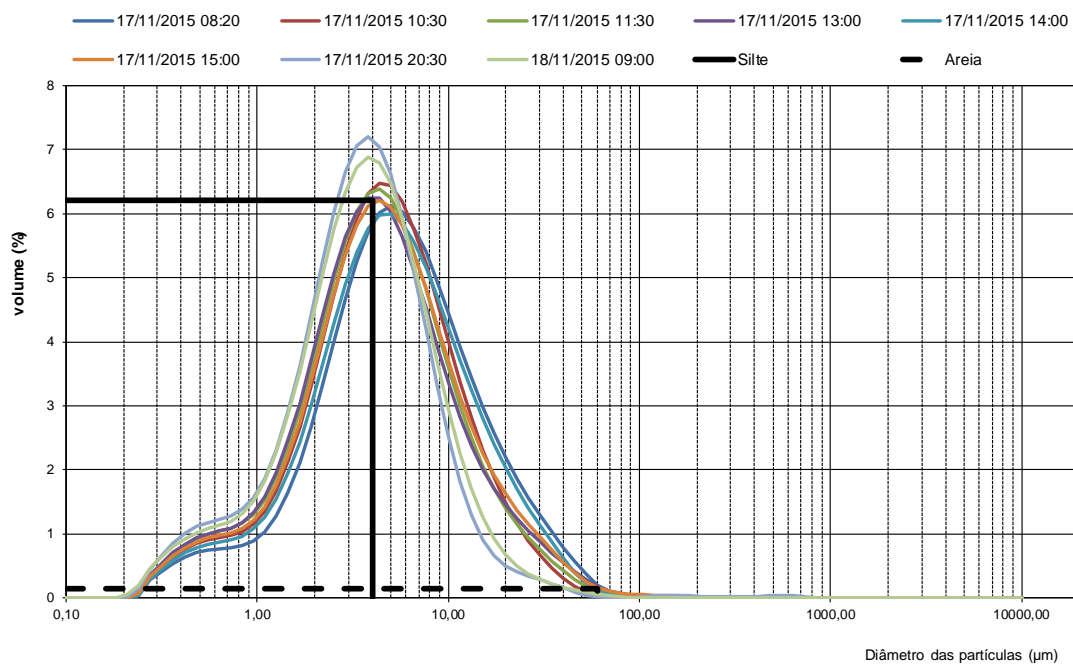


Figura 8 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Baixo Guandu



## Curvas Granulométricas - Jusante da UHE Mascarenhas - Ponte Fontinelli

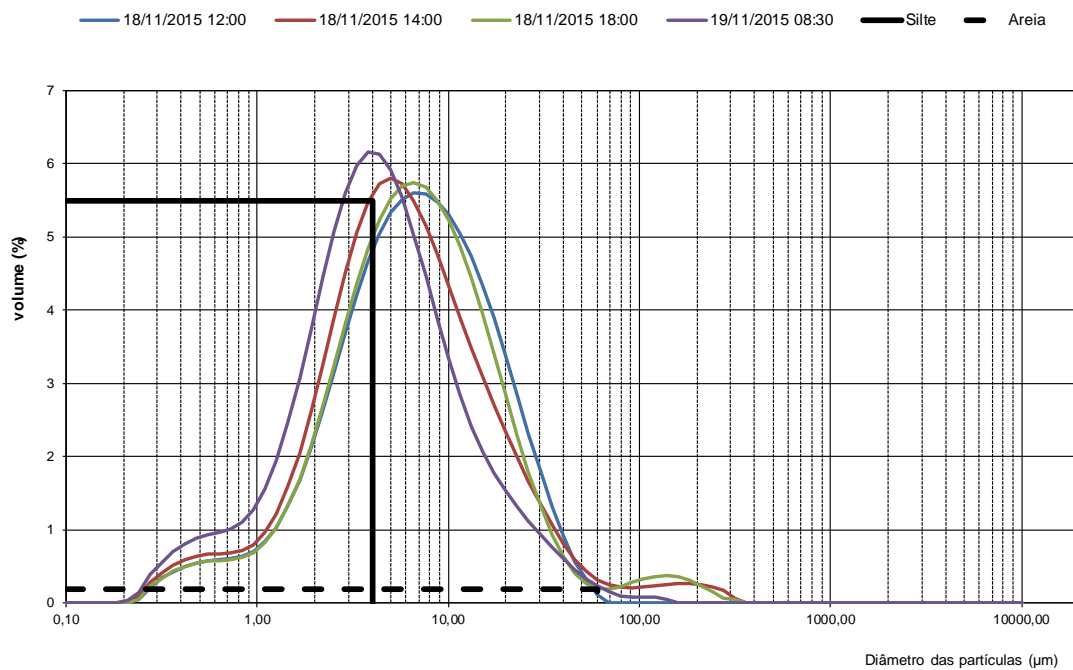


Figura 9 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce a jusante da UHE Mascarenhas



## Curvas Granulométricas - Colatina

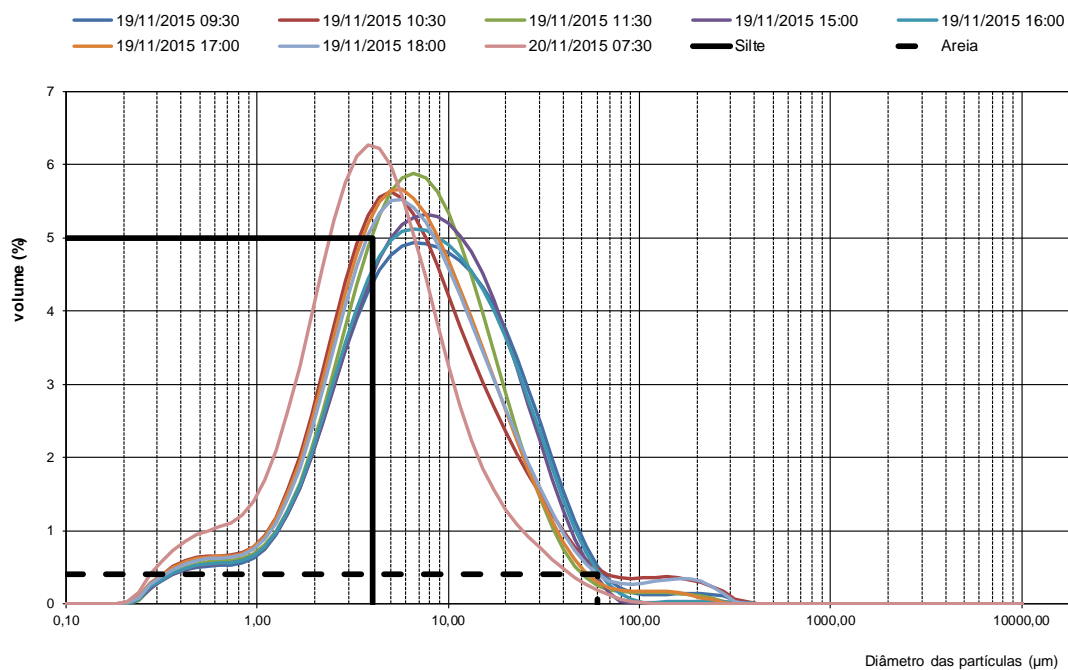


Figura 10 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Colatina



## Curvas Granulométricas - Linhares

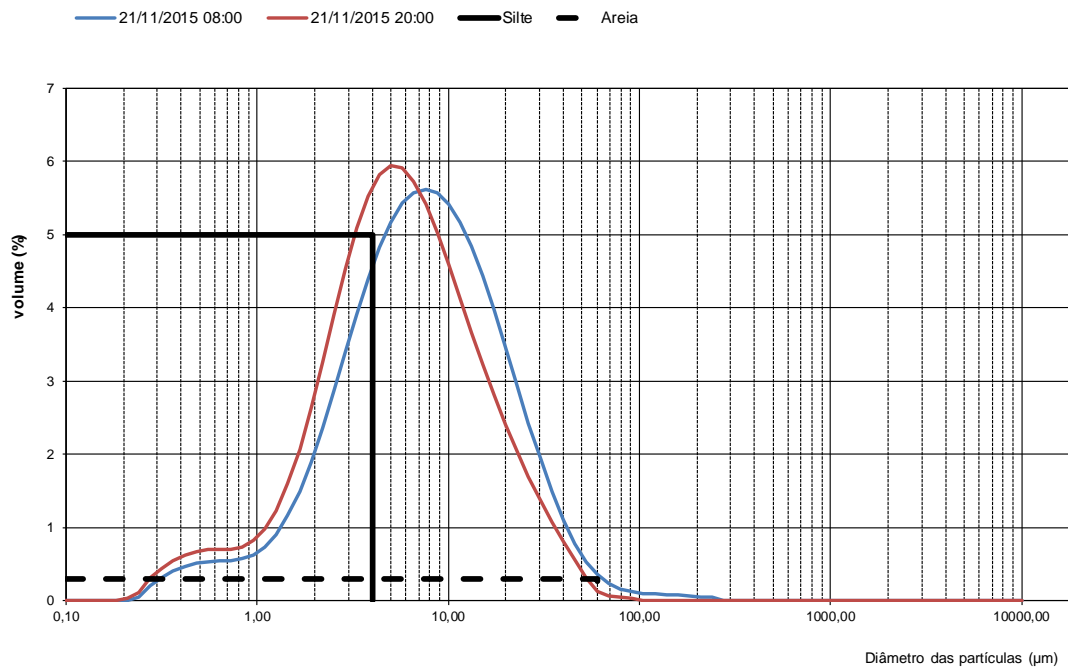
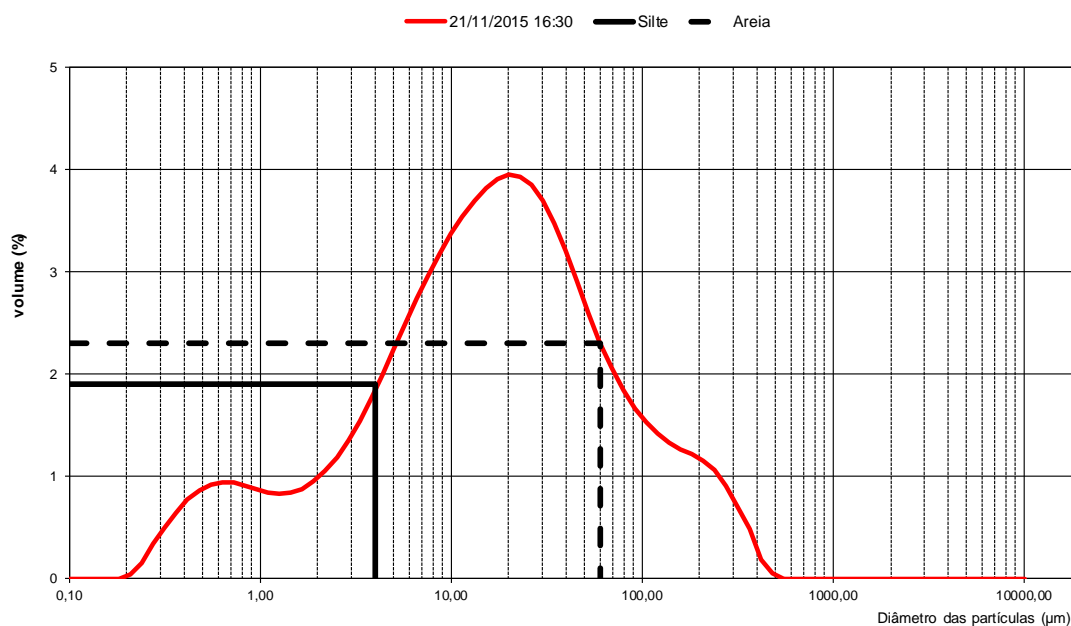


Figura 11 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Linhares

## Curva Granulométrica - Povoação



5.5

Figura 12 – Granulometria dos sedimentos em suspensão do rio Doce em Povoação

Analisando os dados verifica-se que o diâmetro mediano (D50%) dos sedimentos em suspensão durante a passagem da água com elevada turbidez era de aproximadamente:

- 18µm em Cachoeira dos Óculos e Cenibra
- de 7 a 9µm em Governador Valadares, Tumiritinga e Resplendor
- de 3 a 6µm em Baixo Guandu, Jusante da UHE Mascarenhas, Colatina, Linhares
- Em Povoação este diâmetro é maior, provavelmente devido a efeitos da maré.

A título de comparação, segundo Guimaraes (2011, apud Portes, 2013) o D50% dos rejeitos das usinas de concentração de mineração de ferro do Quadrilátero Ferrífero é da ordem de:

- 10µm para lamas;
- 80µm para rejeitos de flotação;
- 150µm para rejeitos de concentração magnética.

Com base nas curvas granulométricas verifica-se um aumento da proporção de sedimentos com granulometria mais fina entre as estações de Cachoeira dos Óculos e Baixo Guandu. Indicando que há uma sedimentação da fração mais grossa ao longo da calha do rio Doce.



## 2.4.2 Concentração de Sedimentos em Suspensão

A Tabela 6 apresenta os resultados da concentração de sedimentos em suspensão das amostras coletadas.

Analisando estes dados verifica-se que na estação Cachoeira dos Óculos a concentração de sedimentos em suspensão atingiu valores da ordem de 400 mil mg/L durante a passagem água com elevada turbidez. Em Belo Oriente essa concentração foi da ordem de 300 mil mg/L. Já em Governador Valadares, a jusante da UHE Baguari, estes valores foram da ordem de 50 mil mg/L. Em Tumiritinga a concentração de sedimentos em suspensão atingiu valores da ordem de 30 mil mg/L. Em Resplendor esse valor foi menor do que 8.000mg/L, em Baixo Guandu da ordem de 3.500mg/L, a jusante de Mascarenhas e Colatina de 2.000mg/L. Em Linhares a concentração de sedimentos foi da ordem de 1.500mg/L.

No geral há uma diminuição da concentração de sedimentos e sedimentação na calha do rio Doce e nos reservatórios à medida que se caminha de montante para jusante.

A título de comparação, os valores característicos de concentração de sedimentos de suspensão obtidos na operação da RHN são os seguintes:

- Cachoeira dos Óculos de 12 a 1290mg/L;
- Governador Valadares de 4 a 240 mg/L;
- Tumiritinga de 5 a 135 mg/L;
- Resplendor de 13 a 188mg/L;
- Colatina de 1 a 802 mg/L.

Tabela 6 – Concentração de Sedimentos em Suspensão

Estação	Data	Hora	Cota (cm)	Css (mg/L)
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	08:20	517	118.396
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	09:00	484	239.030
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	12:01	345	418.848
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	13:16	303	387.388
Cachoeira dos Óculos	07/11/2015	14:00	285	397.428
Belo Oriente	08/11/2015	07:23	226	301.692
Belo Oriente	08/11/2015	08:00	203	304.594
Belo Oriente	08/11/2015	09:00	184	298.060
Belo Oriente	08/11/2015	10:00	171	254.264
Governador Valadares	10/11/2015	07:40	121	36.240
Governador Valadares	10/11/2015	08:40	120	33.728
Governador Valadares	10/11/2015	09:40	117	39.040
Governador Valadares	10/11/2015	10:45	115	47.582
Governador Valadares	10/11/2015	11:40	113	50.942
Governador Valadares	10/11/2015	14:00	113	49.372
Governador Valadares	10/11/2015	15:00	115	49.490
Governador Valadares	10/11/2015	16:00	159	32.442
Governador Valadares	10/11/2015	17:00	116	46.700
Governador Valadares	10/11/2015	18:00	118	46.718

Tabela 6 – Concentração de Sedimentos em Suspensão

<b>Estação</b>	<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Css (mg/L)</b>
Governador Valadares	12/11/2015	07:45	107	12.422
Tumiritinga	11/11/2015	09:30	64	1.298
Tumiritinga	11/11/2015	10:30	65	2.598
Tumiritinga	11/11/2015	11:30	66	3.174
Tumiritinga	11/11/2015	13:00	66	3.374
Tumiritinga	11/11/2015	14:00	66	4.162
Tumiritinga	11/11/2015	15:00	66	4.822
Tumiritinga	11/11/2015	16:00	66	6.636
Tumiritinga	11/11/2015	17:00	66	14.022
Tumiritinga	11/11/2015	18:00	65	21.270
Tumiritinga	12/11/2015	11:10	54	31.056
Resplendor	13/11/2015	09:45	-	1.356
Resplendor	13/11/2015	11:00	-	1.876
Resplendor	13/11/2015	12:00	-	1.994
Resplendor	13/11/2015	13:00	-	2.402
Resplendor	13/11/2015	15:00	-	3.130
Resplendor	13/11/2015	17:00	-	3.466
Resplendor	14/11/2015	10:50	-	4.426
Resplendor	14/11/2015	17:35	-	2.124
Resplendor	15/11/2015	11:00	-	7.706
Resplendor	16/11/2015	10:00	-	3.504
Baixo Guandu	17/11/2015	08:20	-	2.726
Baixo Guandu	17/11/2015	10:30	-	2.968
Baixo Guandu	17/11/2015	11:30	-	3.190
Baixo Guandu	17/11/2015	13:00	-	3.170
Baixo Guandu	17/11/2015	14:00	-	3.258
Baixo Guandu	17/11/2015	15:00	-	3.202
Baixo Guandu	17/11/2015	20:30	-	3.508
Baixo Guandu	17/11/2015	20:45	-	3.338
Baixo Guandu	18/11/2015	09:00	-	2.802
Ponte Fontinelli	18/11/2015	10:00	-	898
Ponte Fontinelli	18/11/2015	12:00	-	1.238
Ponte Fontinelli	18/11/2015	14:00	-	1.484
Ponte Fontinelli	18/11/2015	16:00	-	1.476
Ponte Fontinelli	18/11/2015	18:00	-	1.648
Ponte Fontinelli	18/11/2015	18:00	-	1.770
Ponte Fontinelli	19/11/2015	08:30	-	2.358
<b>Colatina</b>	<b>18/11/2015</b>	<b>11:30</b>	-	<b>29</b>
Colatina	19/11/2015	09:30	-	1.208
Colatina	19/11/2015	10:30	-	1.266
Colatina	19/11/2015	11:30	-	1.556
Colatina	19/11/2015	14:00	-	1.704
Colatina	19/11/2015	15:00	-	1.726
Colatina	19/11/2015	16:00	-	1.730
Colatina	19/11/2015	17:00	-	1.726
Colatina	19/11/2015	18:00	-	1.834
Colatina	19/11/2015	18:00	-	2.044

Tabela 6 – Concentração de Sedimentos em Suspensão

<b>Estação</b>	<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Css (mg/L)</b>
Colatina	20/11/2015	07:30	-	2.226
<b>Linhares</b>	<b>20/11/2015</b>	<b>16:00</b>	-	<b>204</b>
<b>Linhares</b>	<b>20/11/2015</b>	<b>18:30</b>	-	<b>330</b>
<b>Linhares</b>	<b>20/11/2015</b>	<b>18:30</b>	-	<b>376</b>
Linhares	21/11/2015	08:00	-	1.144
Linhares	21/11/2015	20:00	-	1.406
Linhares	21/11/2015	20:00	-	1.530
<b>Povoação</b>	<b>21/11/2015</b>	<b>14:30</b>	-	<b>90</b>
<b>Povoação</b>	<b>21/11/2015</b>	<b>15:00</b>	-	<b>157</b>
<b>Povoação</b>	<b>21/11/2015</b>	<b>16:30</b>	-	<b>218</b>
<b>Povoação</b>	<b>21/11/2015</b>	<b>16:30</b>	-	<b>252</b>

Em negrito amostras coletadas antes da passagem da massa de água com elevada turbidez

### 2.4.3 Estimativa da Descarga Sólida em Suspensão

Foi feita uma estimativa da descarga sólida em suspensão da massa de água com elevada turbidez, durante o período mais crítico, utilizando os seguintes dados:

- concentração de sedimentos em suspensão das amostras coletadas pela CPRM na passagem da massa de água de elevada turbidez
- vazão do rio Doce
- concentração de sedimentos em suspensão divulgados por IGAM, 2015

A tabela 7 apresenta a estimativa da descarga sólida em suspensão nas estações: Cachoeira dos Óculos, Belo Oriente, Governador Valadares, Tumiritinga e Colatina. Adotou-se como premissa que a concentração de sedimentos em suspensão antes da ruptura da barragem no rio Doce era de 100mg/L.

Tabela 7 – Estimativa da Descarga Sólida em Suspensão durante a passagem da massagem de água com elevada turbidez

Estação	Data Hora	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Css (mg/L)	Qst (t)
Cachoeira dos Óculos	6/11/15 22:00	125	46,50	100	1.715.667
	7/11/15 8:00	551	805,01	118.396	500.303
	7/11/15 9:00	529	764,07	239.030	1.965.295
	7/11/15 12:00	379	432,87	418.848	573.569
	7/11/15 13:00	335	354,53	387.388	466.106
	7/11/15 14:00	305	305,98	397.428	10.683.400
	9/11/15 12:00	206	137,88	53.820	451.934
	10/11/15 12:00	179	102,45	29.680	166.627
	11/11/15 12:00	159	79,42	10.280	38.182
	12/11/15 12:00	158	78,37	860	-
<b>Total</b>					<b>16.561.084</b>
Belo Oriente	7/11/15 16:00	114	56,94	100	6.287.990
	8/11/15 7:00	237	296,88	301.692	289.822
	8/11/15 8:00	213	234,56	304.594	232.065
	8/11/15 9:00	195	192,85	298.060	180.056
	8/11/15 10:00	183	167,35	254.264	2.253.183
	9/11/15 12:00	165	132,69	42.150	423.429
	10/11/15 12:00	173	147,57	28.520	331.007
	11/11/15 12:00	156	116,91	29.540	151.145
	12/11/15 12:00	138	88,43	510	16.146
	13/11/15 12:00	131	78,44	4.190	-
<b>Total</b>					<b>10.164.843</b>
Governador Valadares	8/11/15 12:00	140	258,80	100	504.637
	10/11/15 8:00	118	175,10	36.240	21.631
	10/11/15 9:00	116	168,15	33.728	21.559
	10/11/15 10:00	114	161,52	39.040	24.873
	10/11/15 11:00	113	157,88	47.582	27.877
	10/11/15 12:00	112	156,55	50.942	57.714
	10/11/15 14:00	114	163,18	49.372	29.304
	10/11/15 15:00	115	166,16	49.490	24.640
	10/11/15 16:00	116	168,48	32.442	24.363
	10/11/15 17:00	117	172,79	46.700	28.999
	10/11/15 18:00	117	172,12	46.718	668.502
	12/11/15 8:00	107	139,44	12.422	93.194
	13/11/15 12:00	92	98,27	1.190	7.628
	14/11/15 12:00	100	119,27	500	-
<b>Total</b>					<b>1.534.920</b>
Tumiritinga	8/11/15 20:00	30	105,33	100	29.828
	11/11/15 10:00	68	197,80	1.298	1.361
	11/11/15 11:00	66	192,26	2.598	1.997
	11/11/15 12:00	66	192,26	3.174	2.266
	11/11/15 13:00	66	192,26	3.374	2.608
	11/11/15 14:00	66	192,26	4.162	3.133
	11/11/15 15:00	67	195,03	4.822	3.989
	11/11/15 16:00	66	192,26	6.636	7.079
	11/11/15 17:00	65	189,49	14.022	12.037
	11/11/15 18:00	65	189,49	21.270	275.660
	12/11/15 11:00	54	160,30	31.056	289.783
	13/11/15 12:00	35	115,99	12.600	72.354
	14/11/15 12:00	33	111,73	1.910	13.403
	15/11/15 12:00	45	138,36	700	-
<b>Total</b>					<b>715.499</b>

Tabela 7 – Estimativa da Descarga Sólida em Suspensão durante a passagem da massagem de água com elevada turbidez

Estação	Data Hora	Cota (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Css (mg/L)	Qst (t)
Colatina	9/11/15 12:00	110	152,77	100	119.362
	19/11/15 10:00	136	218,00	1.208	965
	19/11/15 11:00	135	215,27	1.266	1.086
	19/11/15 12:00	134	212,54	1.556	2.461
	19/11/15 14:00	132	207,08	1.704	1.270
	19/11/15 15:00	131	204,35	1.726	1.263
	19/11/15 16:00	130	201,62	1.730	1.254
	19/11/15 17:00	130	201,62	1.726	1.284
	19/11/15 18:00	129	199,08	1.834	20.226
	20/11/15 8:00	128	196,54	2.226	-
<b>Total</b>					<b>149.170</b>

A título de comparação, a descarga sólida em suspensão, estimada durante a passagem da massa de água com elevada turbidez, foi comparada com a descarga sólida em suspensão média anual e a descarga sólida em suspensão que seria registrada se não houvesse a ruptura da barragem. Para tanto foram atualizadas as curvas chaves de sedimentos das estações: Cachoeira dos Óculos, Governador Valadares e Colatina apresentadas em CPRM, 2002. A Tabela 8 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 8 – Descarga sólida em suspensão

Estação	Descarga sólida anual (t/ano)	Vazão med evento (m <sup>3</sup> /s) <sup>(1)</sup>	Descarga sólida esperada sem ruptura (t)	Descarga sólida estimada com ruptura (t)
Cachoeira dos Óculos	1,2M	346	46.700	16,6M
Governador Valadares	1,5M	376	6.900	1,5M
Tumiritinga	5,6M	391	4.800	0,72M
Colatina	5,0M	240	2.200	0,15M

1 – Vazão média durante a passagem da onda de cheia

Considerando a densidade específica aparente do rejeito de minério de ferro da ordem de 2t/m<sup>3</sup>, o volume de sedimentos registrado em Cachoeira dos Óculos durante a passagem da massa de água com elevada turbidez foi da ordem de 8,3Mm<sup>3</sup>, em Belo Oriente de 5,1Mm<sup>3</sup>, em Governador Valadares de 0,75Mm<sup>3</sup>.

### 3 Conclusões e Próximos Passos

A ruptura da barragem de rejeitos, ocorrida em 05 de novembro de 2015, provocou uma onda de cheia monitorada pela equipe de Hidrologia da CPRM/BH na calha principal do rio Doce, no período de 07 a 23 de novembro de 2015, de Cachoeira dos Óculos, localizada no Parque Estadual do Rio Doce, e Povoação, foz do rio Doce no Atlântico.

Durante o monitoramento verificou-se uma defasagem entre a onda de cheia e a massa com elevada turbidez, especialmente a partir do trecho entre Belo Oriente e Governador Valadares, onde está localizado o reservatório da UHE Baguari.

Durante o monitoramento foram coletadas amostras de água a 30cm da superfície e realizadas análises de parâmetros *in loco*: Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, pH, Temperatura da água e Turbidez. Posteriormente foram realizadas em laboratório análises de granulometria e concentração de sedimentos em suspensão.

A onda da cheia não provocou inundação nas cidades localizadas na calha principal do rio Doce e atingiu a foz no dia 11 de novembro de 2015.

Já a massa com elevada turbidez atingiu o mar no dia 21 de novembro de 2015. Os valores de turbidez mais altos, da ordem de centenas de milhares de NTU, foram registrados nas estações mais a montante, Cachoeira dos Óculos e Belo Oriente. Estes valores foram diminuindo em direção a foz, onde os valores registrados foram da ordem de unidades de milhares de NTU. Como os altos valores de turbidez são incompatíveis com o tratamento convencional de água para abastecimento, as captações no rio Doce foram suspensas durante a passagem da massa de água com elevada turbidez.

Em termos de granulometria dos sedimentos em suspensão observou-se a diminuição da granulometria rumo a jusante durante a passagem da massa de água com elevada turbidez. Por exemplo, em Cachoeira dos Óculos e Belo Oriente, o diâmetro mediano dos sedimentos em suspensão foi da ordem de 18 $\mu$ m e nas estações de Governador Valadares a Resplendor de 7 a 9 $\mu$ m e de Baixo Guandu a Linhares de 3 a 6 $\mu$ m.

Em termos de concentração de sedimentos em suspensão, verificou-se que nas estações mais a montante, Cachoeira dos Óculos e Belo Oriente, esta concentração foi da ordem de centenas de milhares de mg/L durante a passagem da massa de água com elevada turbidez, diminuindo para dezenas de milhares de mg/L de Governador Valadares a Tumiritinga e para unidades de milhares de mg/L de Resplendor para jusante.

A estimativa da descarga sólida em suspensão, durante a passagem da massa da água com elevada turbidez, foi de 16,6Mt em Cachoeira dos Óculos; 10,2Mt em Belo Oriente; 1,5Mt em Governador Valadares e 0,72Mm<sup>3</sup> em Tumiritinga. Em Cachoeira dos Óculos a descarga sólida em suspensão estimada, durante a passagem da massa de água com elevada turbidez, foi maior do que dez vezes a descarga sólida em suspensão anual na mesma estação. Já em Governador Valadares esta descarga sólida estimada foi equivalente a descarga sólida em suspensão anual.

Tanto a diminuição de turbidez, do diâmetro mediano, da concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão das estações do rio Doce, no sentido de montante para jusante, evidenciam que houve a sedimentação da fração mais grossa dos sedimentos em suspensão ao longo da calha do rio Doce e nos reservatórios das hidrelétricas localizadas nesta calha.

É importante ressaltar que a descarga sólida e volumes apresentados foram estimados considerando o período mais crítico, durante a passagem da massa de água com elevada turbidez, cujo período variou para cada estação monitorada. Entretanto a turbidez e a concentração dos sedimentos em suspensão ainda continuam elevadas no rio Doce, não nos patamares dos valores registrados durante o período mais crítico, mais ainda da ordem de unidades de milhares e centenas de NUT e mg/L dependendo da estação. Além disso, estes valores têm alterado ao longo do tempo, em função das chuvas que estão sendo registradas na bacia, em especial na área do rompimento da barragem. Isto significa que ainda está sendo transportada pela calha do rio Doce uma carga de sedimentos em suspensão acima dos valores normalmente verificados em função da ruptura da barragem, e, enquanto houver sedimentos disponíveis na área da ruptura da barragem sem contenção, os valores da descarga sólida em suspensão variarão em função das chuvas e estarão acima dos valores normalmente verificados.

Ressalta-se que o monitoramento realizado pela CPRM na primeira campanha foi iniciado na estação Cachoeira dos Óculos, localizada no Parque Estadual do Rio Doce, a jusante da UHE Risoleta Neves. Assim, como nesta campanha não foram coletados dados a montante deste reservatório, não é possível estimar a descarga sólida em suspensão, no período mais crítico, durante a passagem da massa de água com elevada turbidez, a montante deste reservatório.

A CPRM em parceria com a ANA está realizando mais campanhas de campo com diferentes objetivos para o monitoramento pós-evento. Sendo que:

- Na segunda campanha foram coletadas amostras de água e de sedimentos de corrente para a realização de uma série de análises laboratoriais, tanto na área de ruptura da barragem quanto na calha do rio Doce a jusante da confluência com o rio do Carmo.
- Na terceira campanha estão sendo coletadas amostras simultâneas em sete pontos desde a área da ruptura até a foz do rio Doce, e sendo analisados 5 parâmetros in loco diariamente, coletadas amostras de água a cada dois dias e de sedimentos a cada quatro dias.
- Na quarta campanha estão sendo realizadas: medições de descarga líquida e sólida, coleta de amostras de material de fundo, coleta de amostras integradas verticalmente e em várias verticais, levantamento de perfis transversais nas diversas estações fluviométricas da RHN localizadas na calha do rio Doce.
- Na quinta campanha manutenção das estações automáticas de medição de nível na calha do rio Doce.

#### **4 Referências Bibliográficas**

CPRM. Projeto Operação da Rede Hidrometeorológica Nacional. Análise da Consistência de Dados Sedimentométricos e de Qualidade de água das sub-bacias: 40, 41, 42, 43, 44, 45, 54, 55, 56, 60 e 61. Belo Horizonte, 2002.

IGAM. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Doce no estado de Minas Gerais. Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce após o Rompimento da Barragem da Samarco no Distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG. Belo Horizonte, 2015.

Portes, Andrea Mirian Costa. Avaliação de Disposição de Rejeitos de Minério de Ferro nas Consistências de Polpa e Torta. UFMG. Belo Horizonte, 2013.



