

Química Ambiental I

As consequências ambientais do rompimento da barragem da mineradora Samarco em Mariana (MG)

Grupo ...:	André George Camaliente	8124715
	Leandro Ramos Marques	8534615
	Lucas Welington de Lima	8939933
	Matheus do Carmo	8939867
	Nicolas Keppeler	8939572

Índice

- Mina de Germano
- Rompimento da barragem
- Apuração das causas
- Danos causados
 - Danos aos ecossistemas do Rio Doce
 - Danos aos ecossistemas marinhos
 - Danos socioeconômicos e culturais
- Toxicidade dos rejeitos
- Ações de recuperação

SAMARCO

- Controlada pela Vale e BHP Billiton
- Mina de Germano localiza-se em Bento Rodrigues, no distrito de Mariana - MG
- Barragens de Fundão e Santarém usadas para armazenar rejeitos da mineração de Ferro



Mina de Germano

Processamento do Minério de Ferro

ITABIRITO

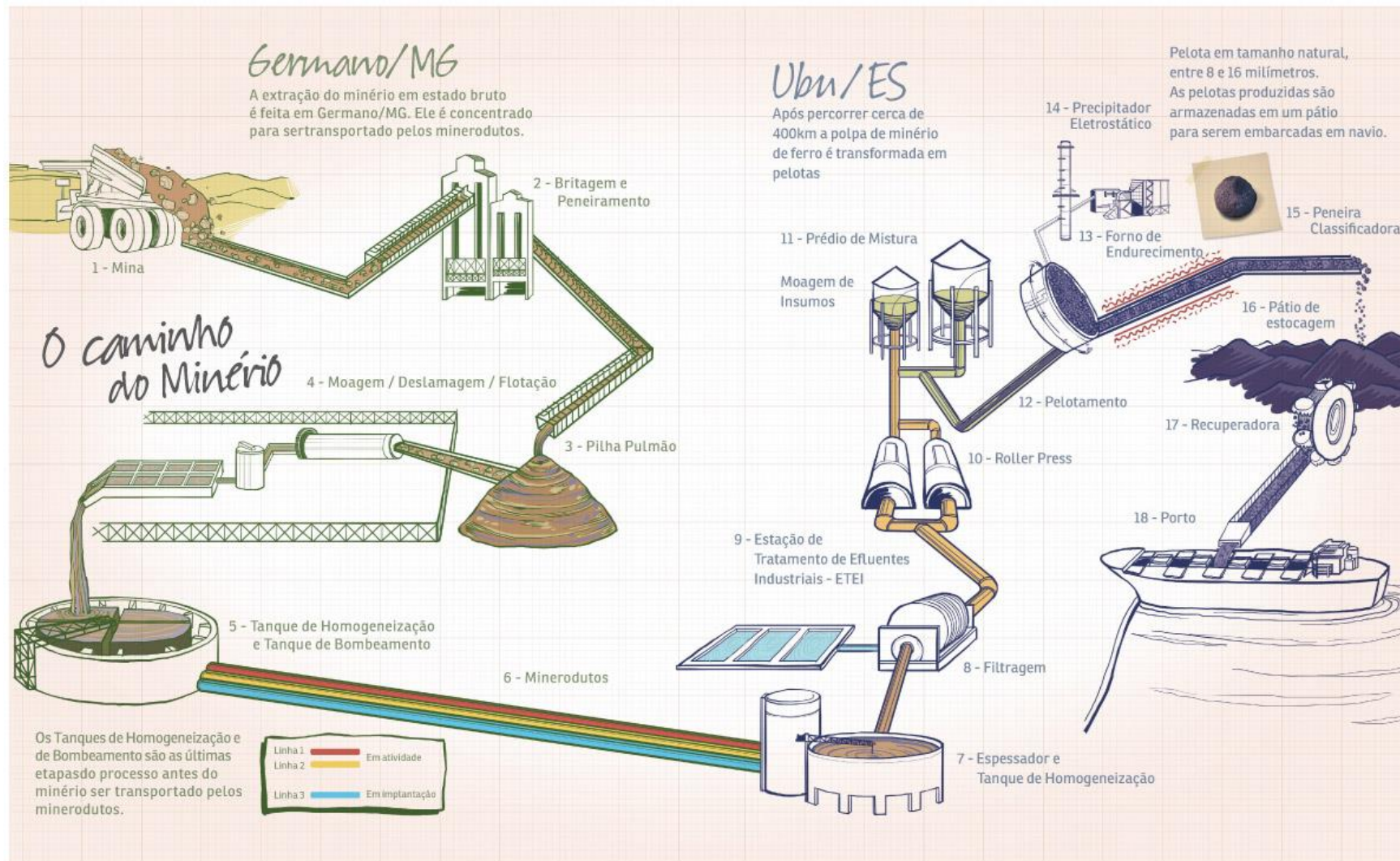


Mineralogia principal: quartzo, óxidos de ferro (hematita, magnetita)

Composição Química: sílico-ferrífera e ferrífera

Teor de Ferro: 50 - 55 %

Processamento do Minério de Ferro



Mina

Rompimento

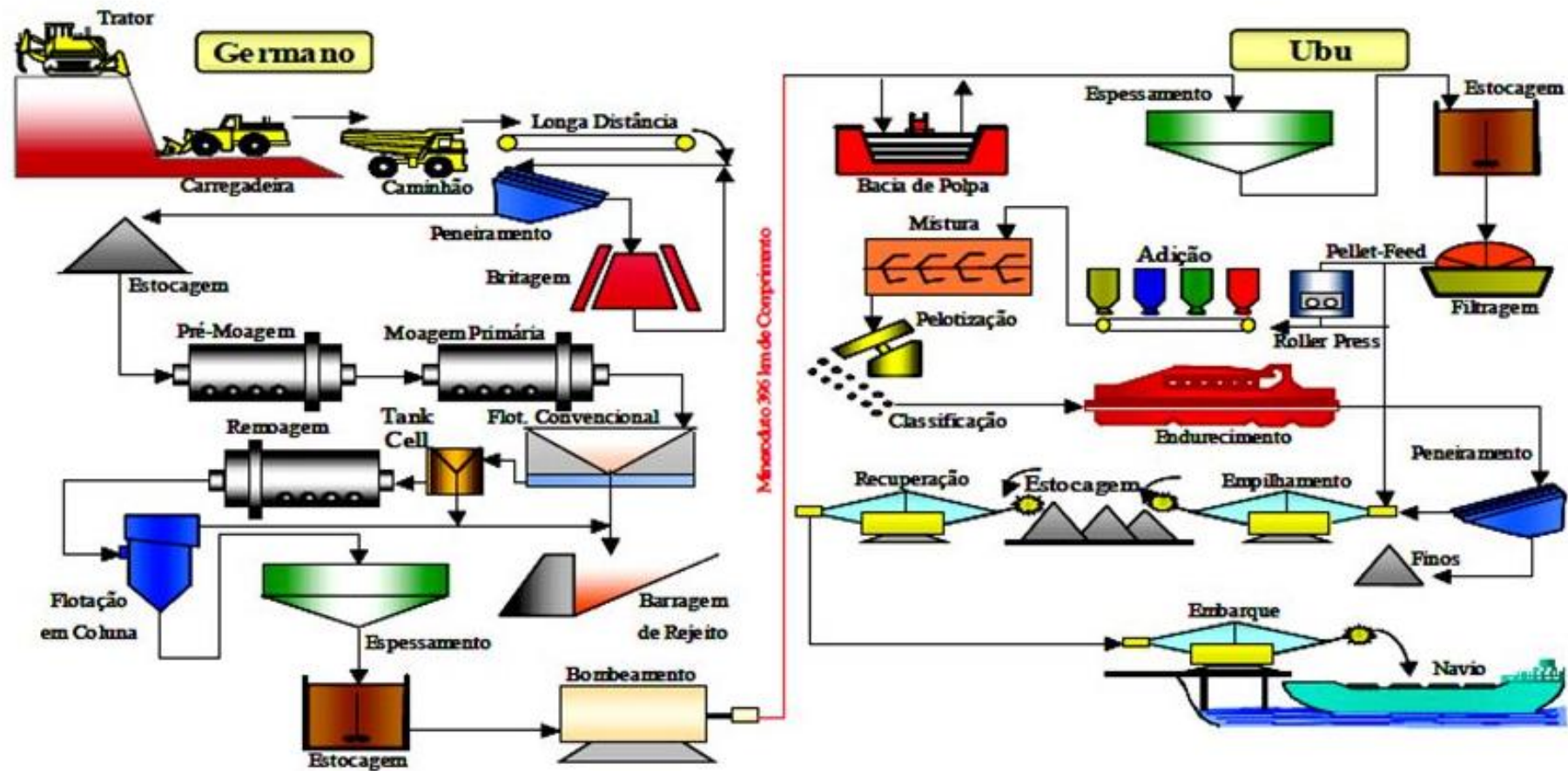
Causas

Danos

Rejeitos

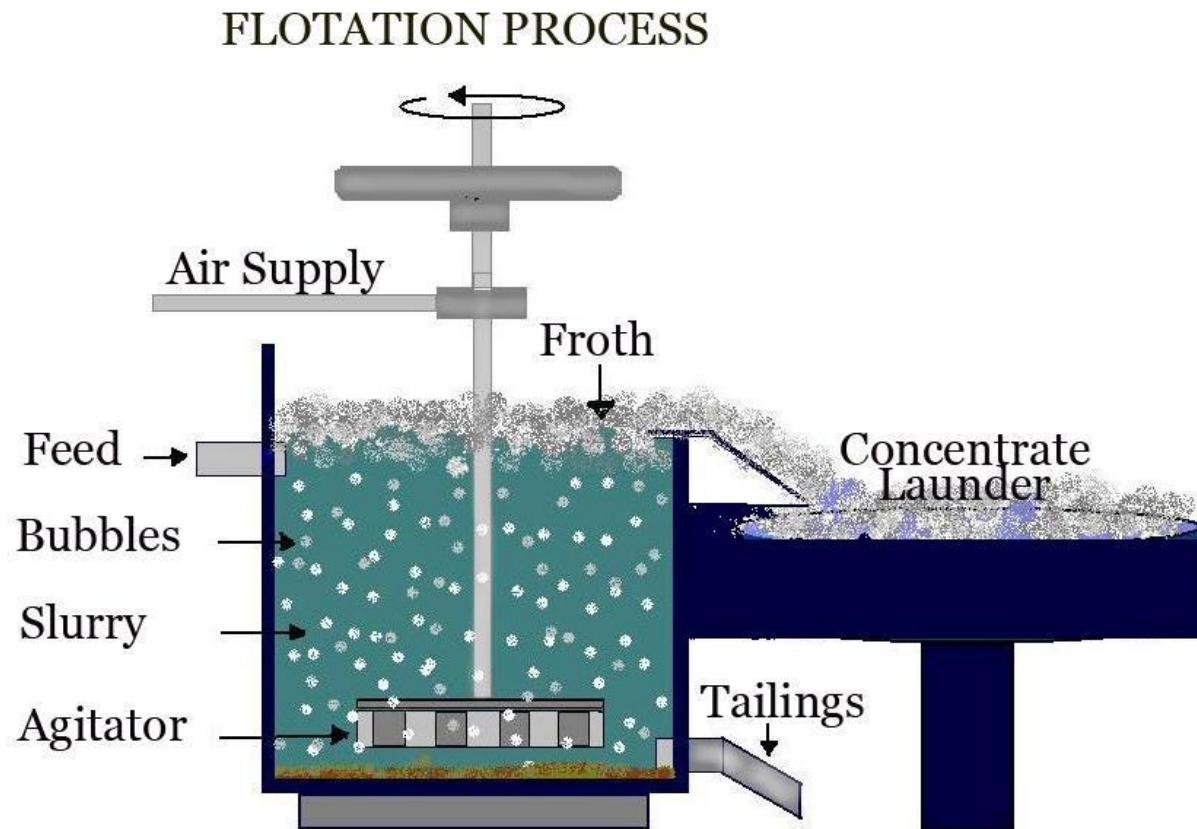
Recuperação

Processamento do Minério de Ferro



Fluxograma geral do processo produtivo da Samarco, MG – BR.

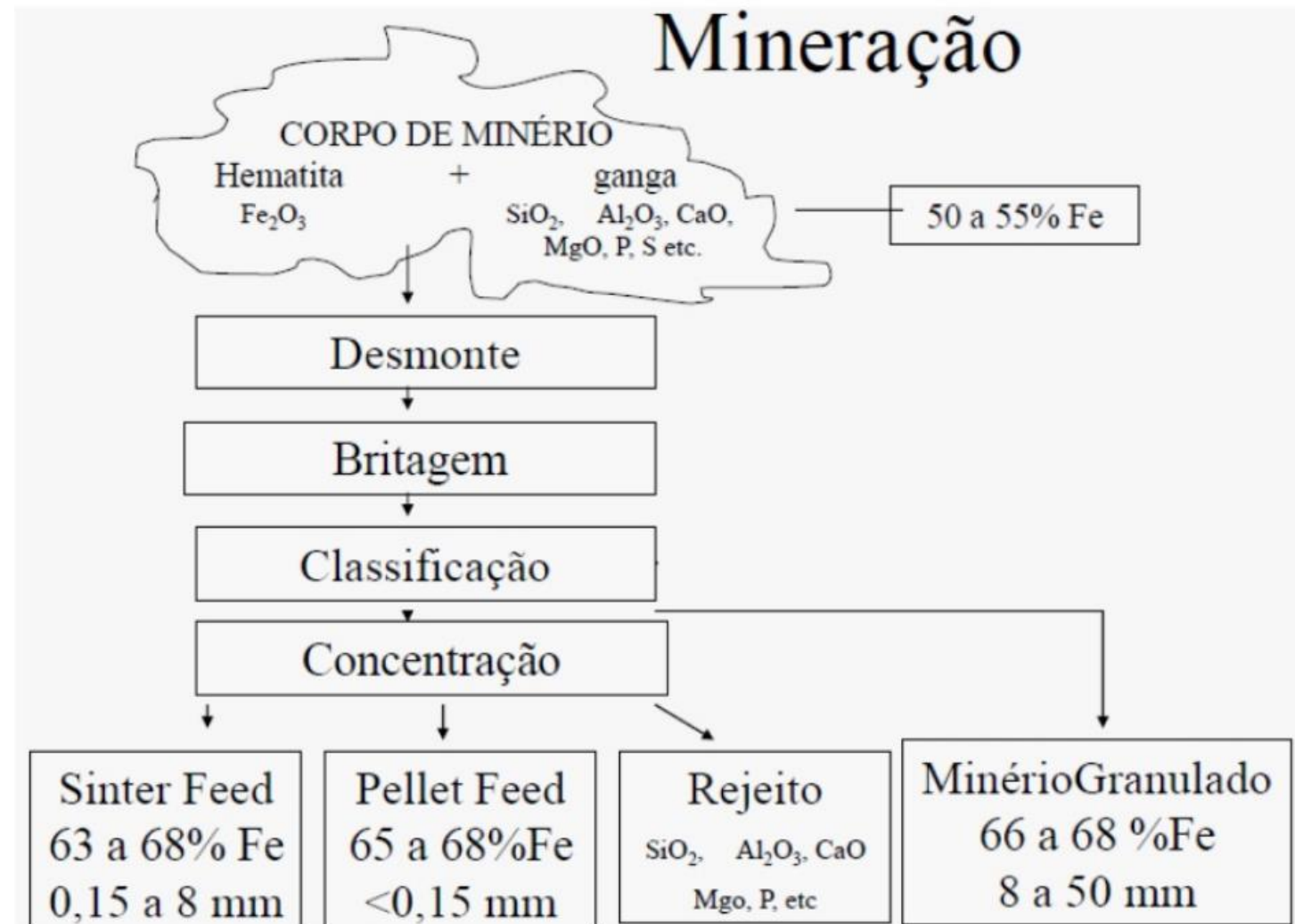
Processamento do Minério de Ferro



Flotação:

- Amido
- NaOH
- Éteramina
- Éterdiamina

Processamento do Minério de Ferro



Barragem de Fundão

- Fundão e Santarém foram construídas pela Samarco para conter os resíduos da mineração de ferro na Mina de Germano;
- A capacidade inicial era de 79,6 milhões de m³ de lama e 32 milhões de m³ de material arenoso durante seus 25 anos de vida útil. ¹

Rompimento da barragem

- No dia 5 de novembro de 2015, por volta das 15 horas, a barragem de Fundão rompeu, despejando mais de 43 milhões de m³ de rejeitos.
- O distrito de Bento Rodrigues foi a primeira área a ser atingida.

Rompimento da barragem

- Ondas de lama de 10 metros de altura
- 19 pessoas morreram
- Impacto a centenas de cursos de água da Bacia do Rio Doce



Mina de Germano (antes do rompimento)



Mina

Rompimento

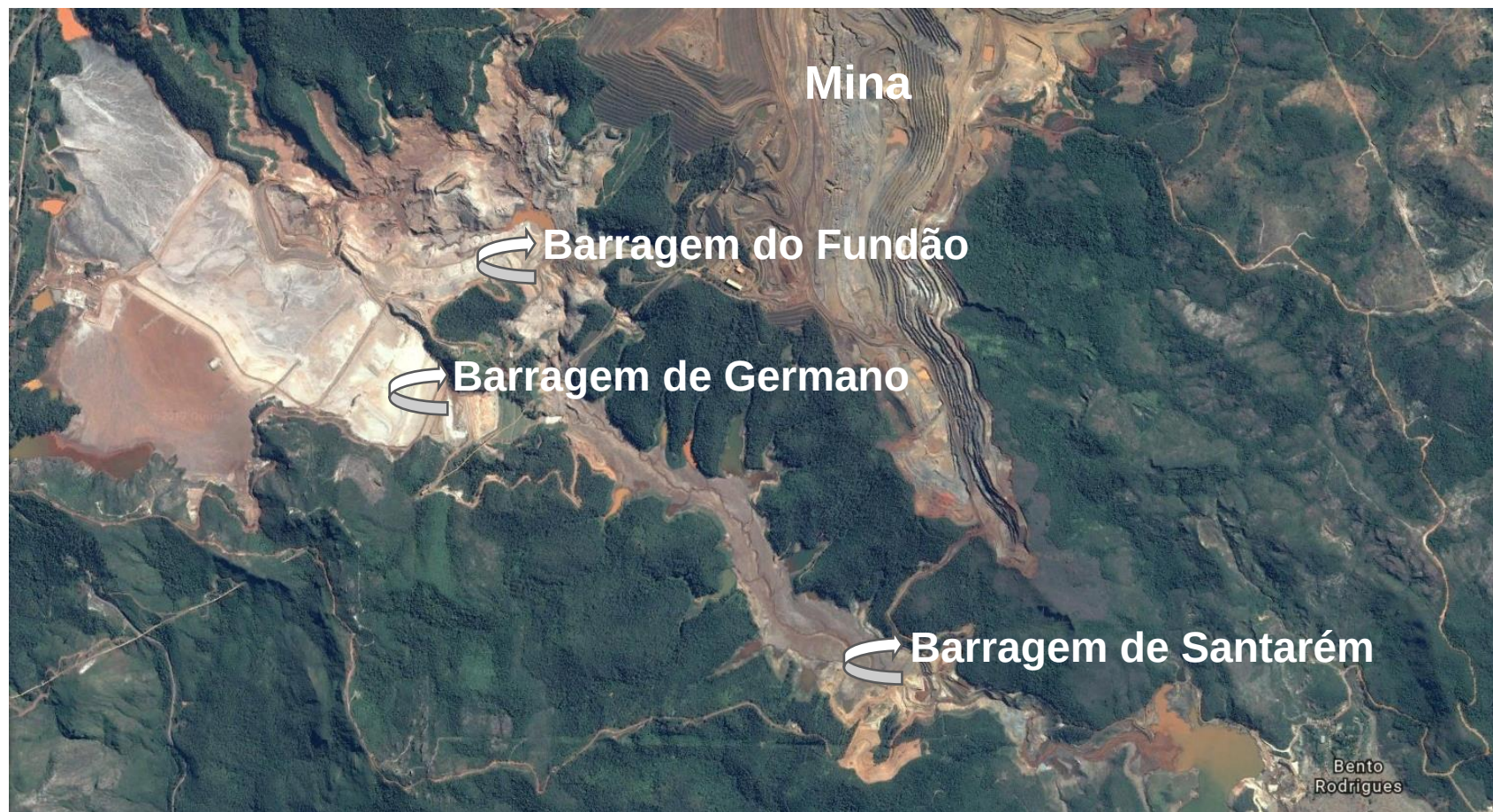
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Mina de Germano (após o rompimento)



Mina

Rompimento

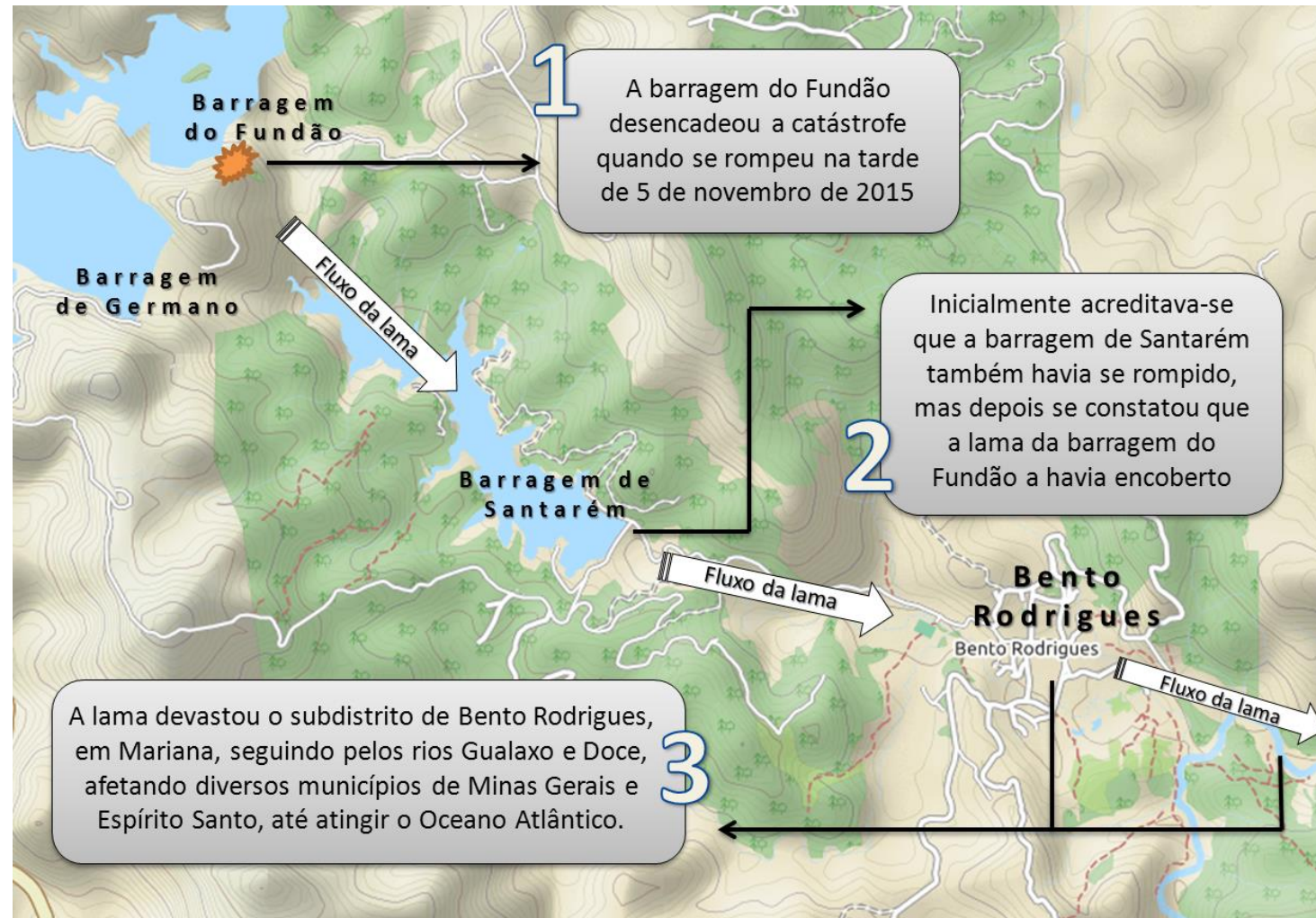
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Esquema do rompimento da barragem do Fundão



Direção dos detritos



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Imagens de satélite antes e após o rompimento da barragem



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Antes e Depois



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Causas do rompimento

1. ALTEAMENTO A MONTANTE

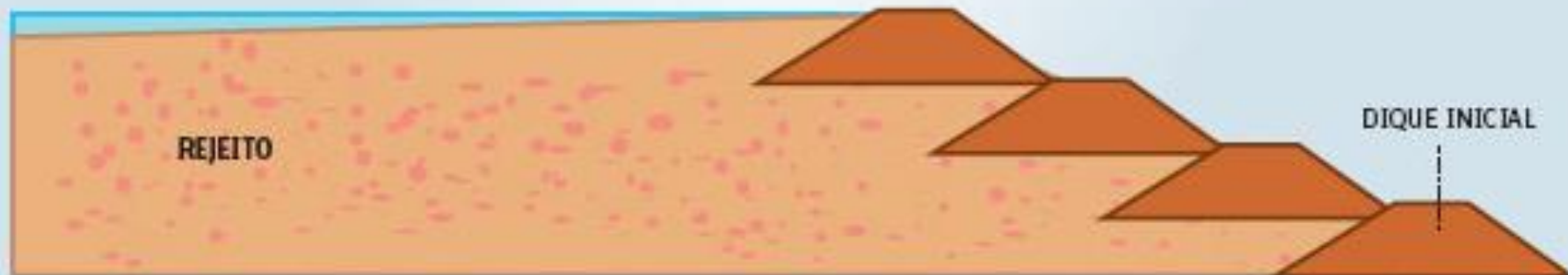
Um dique inicial é feito com material argiloso, que, compactado, forma a contenção da barragem. Para aumentar a capacidade do reservatório, os alteamentos são realizados construindo novos diques em cima do próprio rejeito já depositado, que passa a ajudar na contenção. Esse é o método mais utilizado pela mineração em Minas Gerais.

VANTAGENS

É MAIS BARATO
A OBRA É MAIS RÁPIDA
EXIGE MENOR TRABALHO DE TERRAPLENAGEM

DESVANTAGENS

MENOR SEGURANÇA (OS DIQUES FICAM SOBRE O PRÓPRIO REJEITO, QUE NÃO ESTÁ DEVIDAMENTE COMPACTADO)
MAIOR POSSIBILIDADE DE "PIPING", VAZAMENTO DE ÁGUA ENTRE AS PAREDES DOS DIQUES
MAIS SENSÍVEL A ABALOS SÍSMICOS



Causas do rompimento

2. ALTEAMENTO A JUSANTE

Um dique inicial, impermeável, dotado de um dreno interno, é construído para conter a barragem. Os novos diques a serem construídos ficam por cima do inicial e aumentam a capacidade de contenção com novas camadas de terra, compactada abaixo do dique inicial

VANTAGENS

- MAIOR SEGURANÇA
- MENOR CHANCE DE VAZAMENTOS
- MELHORES CONDIÇÕES DE MONITORAMENTO
- SISTEMA DE DRENAGEM MAIS EFICAZ
- MAIOR RESISTÊNCIA A ABALOS SÍSMICOS

DESVANTAGENS

- CUSTO MAIS ELEVADO
- MAIOR VOLUME DE MATERIAL A SER MOVIMENTADO E COMPACTADO
- OBRA MAIS LENTA



Causas do rompimento

3. ALTEAMENTO DE LINHA DE CENTRO

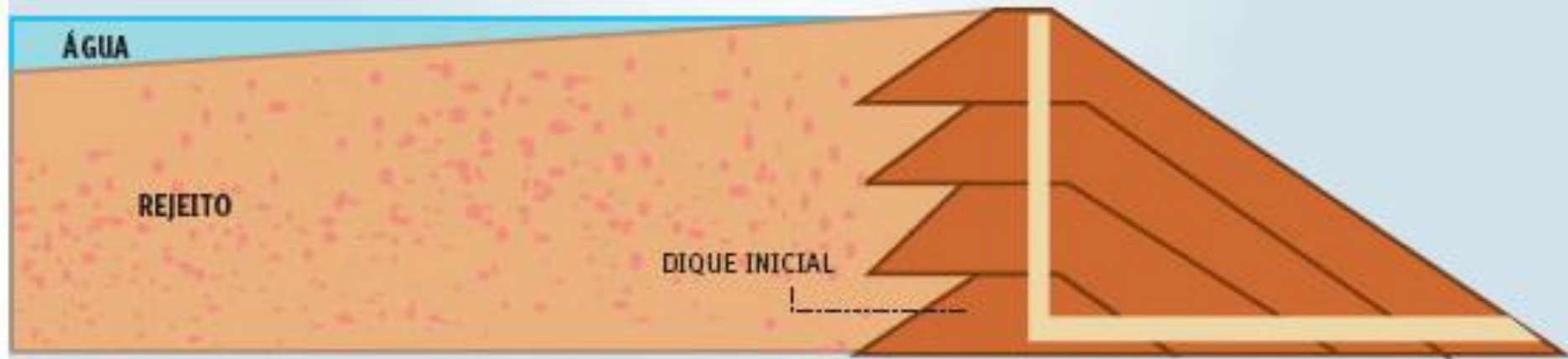
Sistema misto. Também é formado com um dique inicial, e os alteamentos são feitos de forma a manter o eixo do barramento inicial. Para isso, parte dos diques de alteamento fica sobre os rejeitos, e parte é formada de terra compactada abaixo do dique inicial

VANTAGENS

FACILIDADE DE
CONSTRUÇÃO
CUSTO INTERMEDIÁRIO

DESVANTAGENS

POSSIBILIDADE DE
DESLIZAMENTOS



Causas do rompimento

Alteamento a Montante

- Método de construção mais barato e de estrutura mais frágil
- Representa 66% dos acidentes com barragens de rejeitos de mineração
- Ocorreram diversos problemas estruturais desde sua construção, em 2008

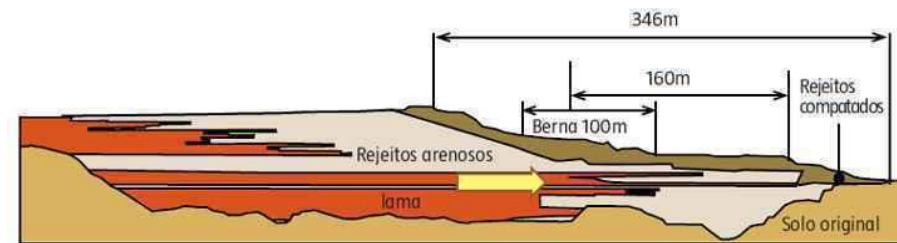
Apuração das causas

- Negligência no monitoramento
- Recuo da ombreira esquerda
- Problemas de drenagem
- Liquefação dos rejeitos arenosos
- Três pequenos abalos sísmicos horas antes do rompimento

AS CAUSAS DA TRAGÉDIA

Painel de especialistas em geotecnia montado por escritório de advocacia internacional contratado pela Vale, Samarco e BHP Billiton aponta causas do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana

Ombreira esquerda (local do problema)



1 Falhas no sistema de drenagem do reservatório

Os danos no sistema começaram em 2009 e resultaram em maior saturação da barragem e disposição de lama em áreas antes não previstas. Foram feitos reparos, mas os problemas com a lama continuaram ao longo dos anos seguintes, exigindo novas obras e intervenções, ainda assim, insuficientes

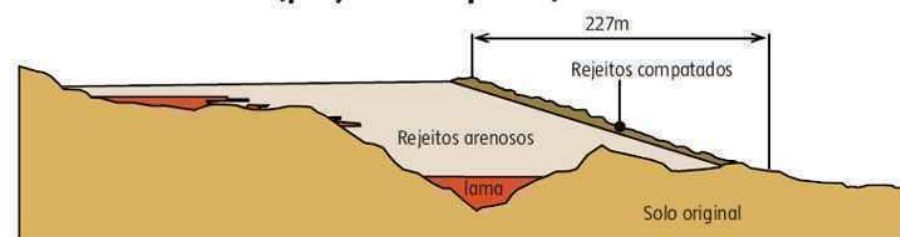
2 Falhas no alteamento da barragem

Problemas estruturais com uma galeria de concreto fizeram com que o alinhamento da barragem na ombreira esquerda fosse deslocado da sua posição anterior, o que colocou o maciço em cima de uma base de lama e não de areia. Isso desencadeou o processo de liquefação do material depositado, ou seja, do estado sólido, os rejeitos assumiram o estado líquido.

3 Abalos sísmicos

Três pequenos abalos sísmicos ocorreram 90 minutos antes do rompimento da barragem e funcionaram como gatilho para o acidente. Segundo o estudo, eles aceleraram o processo de rompimento, que já estava bastante avançado.

Ombreira direita (projeto adequado)



Fonte: Painel de Revisão da Barragem de Rejeitos de Fundão

Monitoramento

- Plano de Amostragem - Pontos de Amostragem, Parâmetros e Frequência
- Procedimentos de Amostragem e Análise
- Análise e Visualização dos Resultados
- Medidas Corretivas/Preventivas

Monitoramento

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IEMA - Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos

Hídricos do Espírito Santo

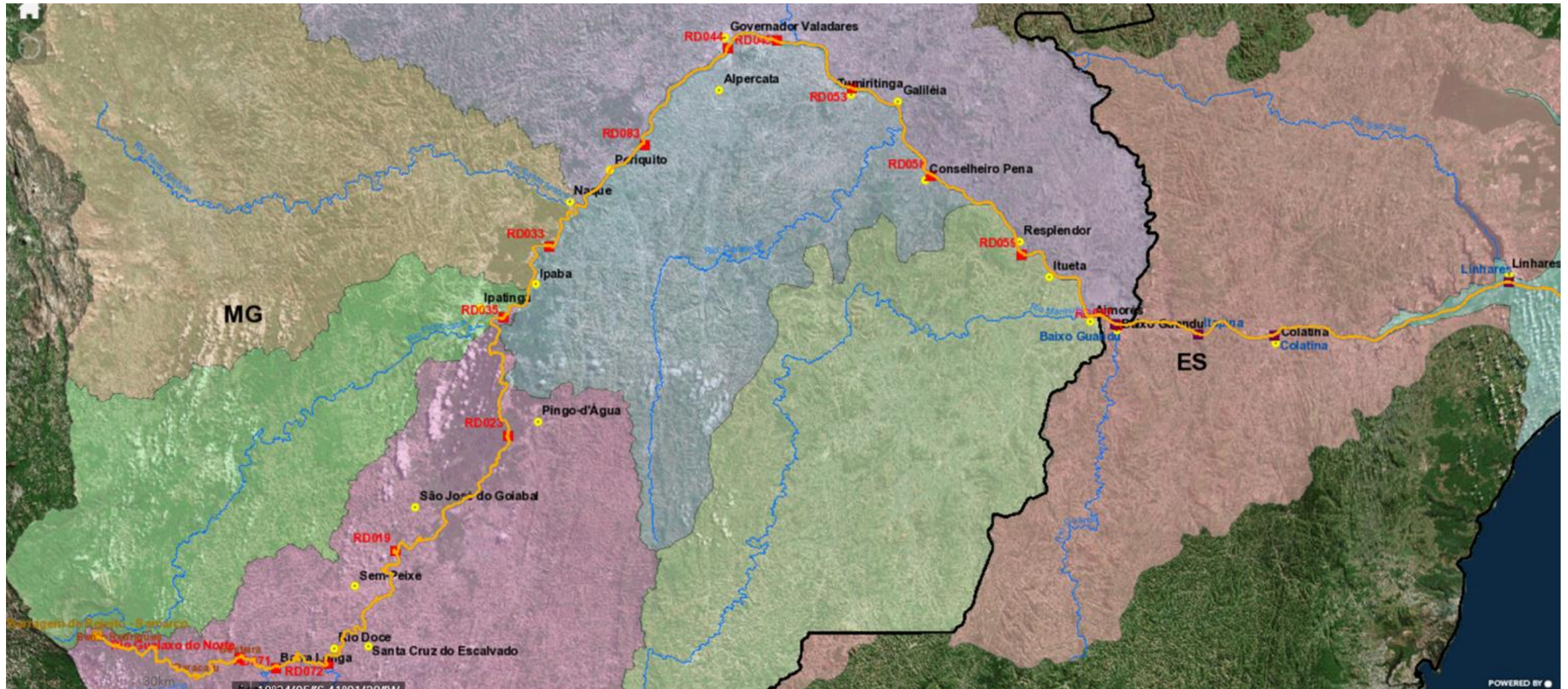
UHE - Usinas Hidroelétricas

ANA - Agência Nacional de Águas

Dados disponíveis em:

<http://www2.ana.gov.br/Paginas/Riodoce/default.aspx>

Monitoramento



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Alumínio dissolvido

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016				2017	0,10000	0,36
Ribeirão do Carmo - IGAM							0,10000	1,04
Rio Doce - IGAM							0,10000	2,39
Rio Casca - IGAM							0,10000	2,90
Marliéria - IGAM							0,10000	23,20
Ipatinga - IGAM							0,10000	11,00
Belo Oriente - IGAM							0,10000	32,20
Periquito - IGAM							0,10000	2,53
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,10000	3,27
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,10000	8,09
Tumiritinga - IGAM							0,10000	8,25
Conselheiro Pena - IGAM							0,10000	6,03
Resplendor - IGAM							0,10000	10,55
Aimorés - IGAM							0,10000	3,14
Baixo Guandu - IEMA							0,03300	4,53
Itapina - IEMA							0,03400	4,62
Colatina - IEMA							0,03600	4,37
Linhares - IEMA							0,02100	3,81

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Arsênio total

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016				2017	0,001000	0,0034
Ribeirão do Carmo - IGAM							0,001000	0,0036
Rio Doce - IGAM							0,001000	0,0034
Rio Casca - IGAM							0,001000	0,0088
Marliéria - IGAM							0,001000	0,0974
Ipatinga - IGAM							0,001000	0,0455
Belo Oriente - IGAM							0,001000	0,1080
Periquito - IGAM							0,001000	0,0143
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,001000	0,0363
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,001000	0,0244
Tumiritinga - IGAM							0,001000	0,0287
Conselheiro Pena - IGAM							0,001000	0,0123
Resplendor - IGAM							0,001000	0,0038
Aimorés - IGAM							0,001000	0,0040
Baixo Guandu - IEMA							0,001000	0,2131
Itapina - IEMA							0,001000	0,0010
Colatina - IEMA							0,001000	0,0010
Linhares - IEMA							0,001000	0,0010

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Cádmio total

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016			2017		0,0005000	0,00078
Ribeirão do Carmo - IGAM							0,0005000	0,00050
Rio Doce - IGAM							0,0005000	0,00050
Rio Casca - IGAM							0,0005000	0,00105
Marliéria - IGAM							0,0005000	0,01350
Ipatinga - IGAM							0,0005000	0,00800
Belo Oriente - IGAM							0,0005000	0,01580
Periquito - IGAM							0,0005000	0,00050
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,0005000	0,00148
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,0005000	0,00148
Tumiritinga - IGAM							0,0005000	0,00085
Conselheiro Pena - IGAM							0,0005000	0,00080
Resplendor - IGAM							0,0005000	0,03460
Aimorés - IGAM							0,0005000	0,00050
Baixo Guandu - IEMA							0,0010000	0,00100
Itapina - IEMA							0,0010000	0,00100
Colatina - IEMA							0,0010000	0,00100
Linhares - IEMA							0,0010000	0,00100

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Chumbo total

						2016	2017	Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM								0,005000	0,446
Ribeirão do Carmo - IGAM								0,005000	0,177
Rio Doce - IGAM								0,005000	0,056
Rio Casca - IGAM								0,005000	0,142
Marliéria - IGAM								0,005000	0,536
Ipatinga - IGAM								0,005000	1,650
Belo Oriente - IGAM								0,005000	1,500
Periquito - IGAM								0,005000	0,133
Gov. Valadares Montante - IGAM								0,005000	0,424
Gov. Valadares Jusante - IGAM								0,005000	0,442
Tumiritinga - IGAM								0,005000	0,292
Conselheiro Pena - IGAM								0,005000	0,246
Resplendor - IGAM								0,005000	0,079
Aimorés - IGAM								0,005000	0,042
Baixo Guandu - IEMA								0,001000	0,120
Itapina - IEMA								0,001000	0,080
Colatina - IEMA								0,001000	0,080
Linhares - IEMA								0,001000	0,060

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Cobre dissolvido

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016				2017	0,004000	0,0040
Ribeirão do Carmo - IGAM							0,004000	0,0040
Rio Doce - IGAM							0,004000	0,0050
Rio Casca - IGAM							0,004000	0,6750
Marliéria - IGAM							0,004000	0,0321
Ipatinga - IGAM							0,004000	0,2170
Belo Oriente - IGAM							0,004000	0,0343
Periquito - IGAM							0,004000	0,1080
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,004000	0,0416
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,004000	0,0543
Tumiritinga - IGAM							0,004000	0,2310
Conselheiro Pena - IGAM							0,004000	0,0479
Resplendor - IGAM							0,004000	0,0420
Aimorés - IGAM							0,004000	0,0785
Baixo Guandu - IEMA							0,001000	0,0229
Itapina - IEMA							0,001000	0,4540
Colatina - IEMA							0,001000	0,0118
Linhares - IEMA							0,001000	0,0146

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Cromo total

Min

Max

Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016		2017	0,04000	0,058
Ribeirão do Carmo - IGAM					0,04000	0,084
Rio Doce - IGAM					0,04000	0,040
Rio Casca - IGAM					0,04000	0,070
Marliéria - IGAM					0,04000	1,658
Ipatinga - IGAM					0,04000	1,730
Belo Oriente - IGAM					0,04000	2,863
Periquito - IGAM					0,04000	0,070
Gov. Valadares Montante - IGAM					0,04000	0,298
Gov. Valadares Jusante - IGAM					0,04000	0,320
Tumiritinga - IGAM					0,04000	0,309
Conselheiro Pena - IGAM					0,04000	0,132
Resplendor - IGAM					0,04000	0,040
Aimorés - IGAM					0,04000	0,040
Baixo Guandu - IEMA					0,01000	0,327
Itapina - IEMA					0,01000	0,142
Colatina - IEMA					0,01000	0,139
Linhares - IEMA					0,01000	0,112

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Ferro dissolvido

						Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016			2017	0,0726	0,95
Ribeirão do Carmo - IGAM						0,1022	2,62
Rio Doce - IGAM						0,1105	6,76
Rio Casca - IGAM						0,1723	18,73
Marliéria - IGAM						0,1294	23,60
Ipatinga - IGAM						0,1474	18,01
Belo Oriente - IGAM						0,1030	32,26
Periquito - IGAM						0,0865	4,58
Gov. Valadares Montante - IGAM						0,0677	3,49
Gov. Valadares Jusante - IGAM						0,0736	6,90
Tumiritinga - IGAM						0,1341	7,13
Conselheiro Pena - IGAM						0,0793	5,67
Resplendor - IGAM						0,0595	8,62
Aimorés - IGAM						0,0300	4,46
Baixo Guandu - IEMA						0,0330	4,50
Itapina - IEMA						0,0370	3,79
Colatina - IEMA						0,0480	4,72
Linhares - IEMA						0,0400	3,60

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Manganês total

						2016		2017	Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM									0,0099	103,8
Ribeirão do Carmo - IGAM									0,0048	40,7
Rio Doce - IGAM									0,0622	15,0
Rio Casca - IGAM									0,1270	32,3
Marliéria - IGAM									0,1200	936,0
Ipatinga - IGAM									0,1450	351,0
Belo Oriente - IGAM									0,0420	857,0
Periquito - IGAM									0,0279	21,9
Gov. Valadares Montante - IGAM									0,0196	67,2
Gov. Valadares Jusante - IGAM									0,0136	40,8
Tumiritinga - IGAM									0,0126	31,4
Conselheiro Pena - IGAM									0,0117	19,4
Resplendor - IGAM									0,0110	4,5
Aimorés - IGAM									0,0105	1,8
Baixo Guandu - IEMA									0,0130	2,8
Itapina - IEMA									0,0120	2,1
Colatina - IEMA									0,0130	2,0
Linhares - IEMA									0,0190	1,4

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Mercúrio total

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016					0,2000	0,8890
Ribeirão do Carmo - IGAM							0,2000	0,2000
Rio Doce - IGAM							0,2000	0,2930
Rio Casca - IGAM							0,2000	0,2390
Marliéria - IGAM							0,2000	0,2290
Ipatinga - IGAM							0,2000	0,2000
Belo Oriente - IGAM							0,2000	0,2000
Periquito - IGAM							0,2000	0,2000
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,0225	0,2000
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,2000	0,2590
Tumiritinga - IGAM							0,2000	0,3970
Conselheiro Pena - IGAM							0,0225	0,4020
Resplendor - IGAM							0,2000	0,5290
Aimorés - IGAM							0,2000	0,4890
Baixo Guandu - IEMA							0,0001	0,0001
Itapina - IEMA							0,0001	0,0001
Colatina - IEMA							0,0001	0,0001
Linhares - IEMA							0,0001	0,0001

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Níquel total

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016				2017	0,004000	0,144
Ribeirão do Carmo - IGAM							0,004000	0,055
Rio Doce - IGAM							0,004000	0,024
Rio Casca - IGAM							0,004000	0,099
Marliéria - IGAM							0,004000	2,280
Ipatinga - IGAM							0,004000	0,951
Belo Oriente - IGAM							0,004000	2,130
Periquito - IGAM							0,004000	0,070
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,004000	0,216
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,004000	0,211
Tumiritinga - IGAM							0,004000	0,250
Conselheiro Pena - IGAM							0,004000	0,106
Resplendor - IGAM							0,004000	0,034
Aimorés - IGAM							0,004000	0,052
Baixo Guandu - IEMA							0,010000	0,102
Itapina - IEMA							0,010000	0,102
Colatina - IEMA							0,001000	0,117
Linhares - IEMA							0,001000	0,040

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Oxigênio dissolvido

							Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016				2017	7,100	9,00
Ribeirão do Carmo - IGAM							6,400	9,00
Rio Doce - IGAM							0,600	8,80
Rio Casca - IGAM							0,500	8,80
Marliéria - IGAM							0,500	9,00
Ipatinga - IGAM							0,500	9,10
Belo Oriente - IGAM							0,500	8,90
Periquito - IGAM							0,500	8,50
Gov. Valadares Montante - IGAM							0,500	8,60
Gov. Valadares Jusante - IGAM							0,500	8,30
Tumiritinga - IGAM							0,500	8,90
Conselheiro Pena - IGAM							1,100	8,60
Resplendor - IGAM							1,400	8,60
Aimorés - IGAM							4,400	9,10
Baixo Guandu - IEMA							1,410	8,34
Itapina - IEMA							3,540	8,90
Colatina - IEMA							3,310	47,80
Linhares - IEMA							3,590	9,55

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Sólidos dissolvidos totais

						Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016			2017	24,00	250
Ribeirão do Carmo - IGAM						36,00	460
Rio Doce - IGAM						30,00	380
Rio Casca - IGAM						40,00	390
Marliéria - IGAM						30,00	430
Ipatinga - IGAM						50,00	470
Belo Oriente - IGAM						50,00	630
Periquito - IGAM						40,00	430
Gov. Valadares Montante - IGAM						44,00	940
Gov. Valadares Jusante - IGAM						20,00	440
Tumiritinga - IGAM						40,00	730
Conselheiro Pena - IGAM						46,00	2.110
Resplendor - IGAM						40,00	660
Aimorés - IGAM						40,00	930
Baixo Guandu - IEMA						10,00	860
Itapina - IEMA						10,00	428
Colatina - IEMA						17,30	429
Linhares - IEMA						4,61	7.700

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Sólidos em suspensão totais

						Min	Max
Rio Gualaxo do Norte - IGAM		2016			2017	49,00	53.760
Ribeirão do Carmo - IGAM						19,00	28.920
Rio Doce - IGAM						19,00	112.280
Rio Casca - IGAM						53,00	221.110
Marliéria - IGAM						51,00	344.550
Ipatinga - IGAM						27,00	123.850
Belo Oriente - IGAM						34,00	204.230
Periquito - IGAM						8,00	8.760
Gov. Valadares Montante - IGAM						7,00	20.370
Gov. Valadares Jusante - IGAM						6,00	20.770
Tumiritinga - IGAM						2,00	29.540
Conselheiro Pena - IGAM						4,00	13.650
Resplendor - IGAM						2,00	5.700
Aimorés - IGAM						4,00	2.470
Baixo Guandu - IEMA						10,00	10
Itapina - IEMA						10,00	10
Colatina - IEMA						10,00	10
Linhares - IEMA						10,00	10

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Turbidez

Min

Max

	2016	2017		
Rio Gualaxo do Norte - IGAM			54,40	32.510
Ribeirão do Carmo - IGAM			20,50	32.848
Rio Doce - IGAM			43,20	435.400
Rio Casca - IGAM			85,80	597.400
Marliéria - IGAM			99,70	606.200
Ipatinga - IGAM			91,80	334.600
Belo Oriente - IGAM			74,60	497.500
Periquito - IGAM			34,60	21.480
Gov. Valadares Montante - IGAM			3,19	140.000
Gov. Valadares Jusante - IGAM			4,92	81.440
Tumiritinga - IGAM			2,05	74.160
Conselheiro Pena - IGAM			5,00	89.220
Resplendor - IGAM			3,59	28.500
Aimorés - IGAM			2,73	10.050
Baixo Guandu - IEMA			2,89	9.560
Itapina - IEMA			0,69	5.620
Colatina - IEMA			2,86	6.370
Linhares - IEMA			8,86	3.665

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Danos Causados

F.F. Carmo et al. / Perspectives in Ecology and Conservation 15 (2017) 145–151

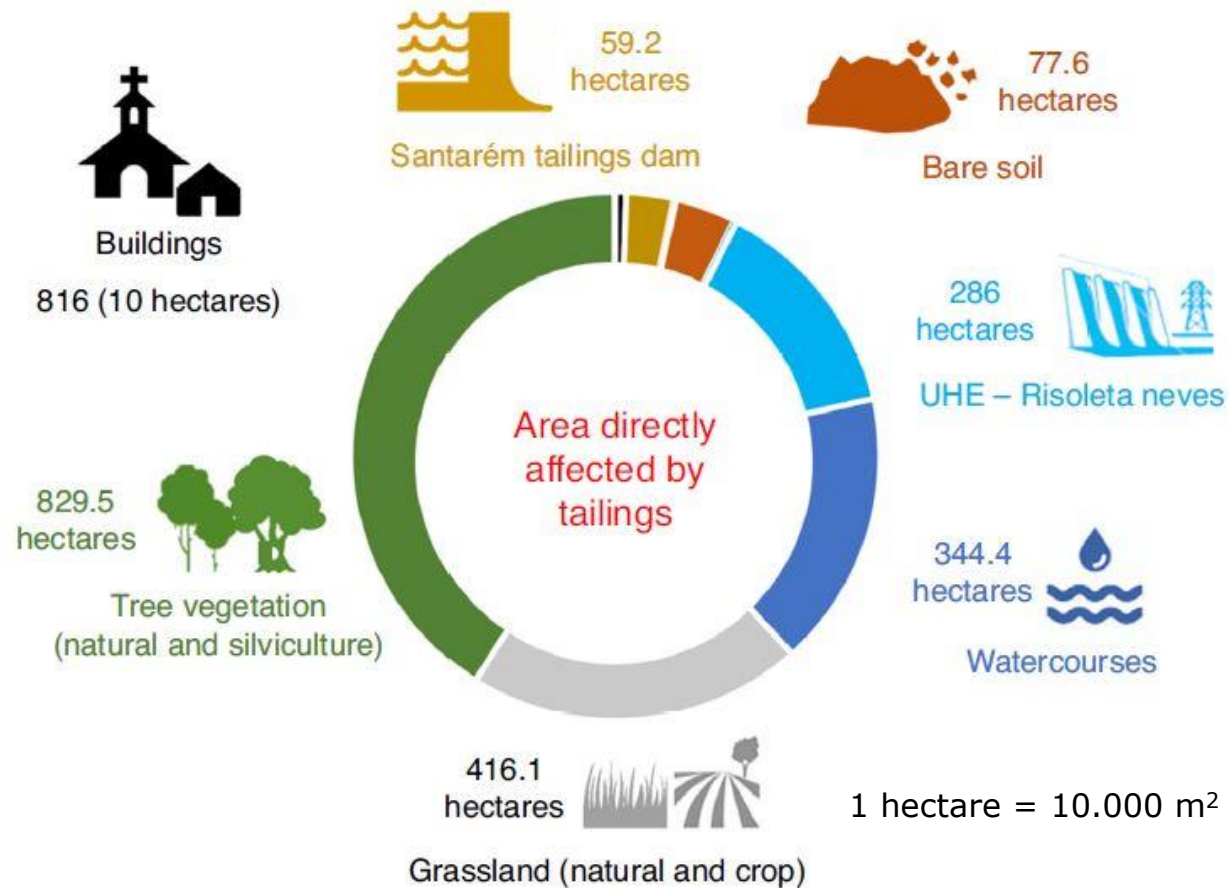


Fig. 2. Elements of natural and cultural heritage damaged by the Fundão tailings dam.

Danos Causados

Dentre os danos causados, podem-se destacar:

- Danos ao ecossistema da região;
- Danos socioeconômicos e culturais.

Danos aos ecossistemas do Rio Doce

No rio Doce, são catalogadas mais de 100 espécies de peixes - dentre elas seis com risco de extinção, além das espécies que ainda são desconhecidas pela ciência; ²

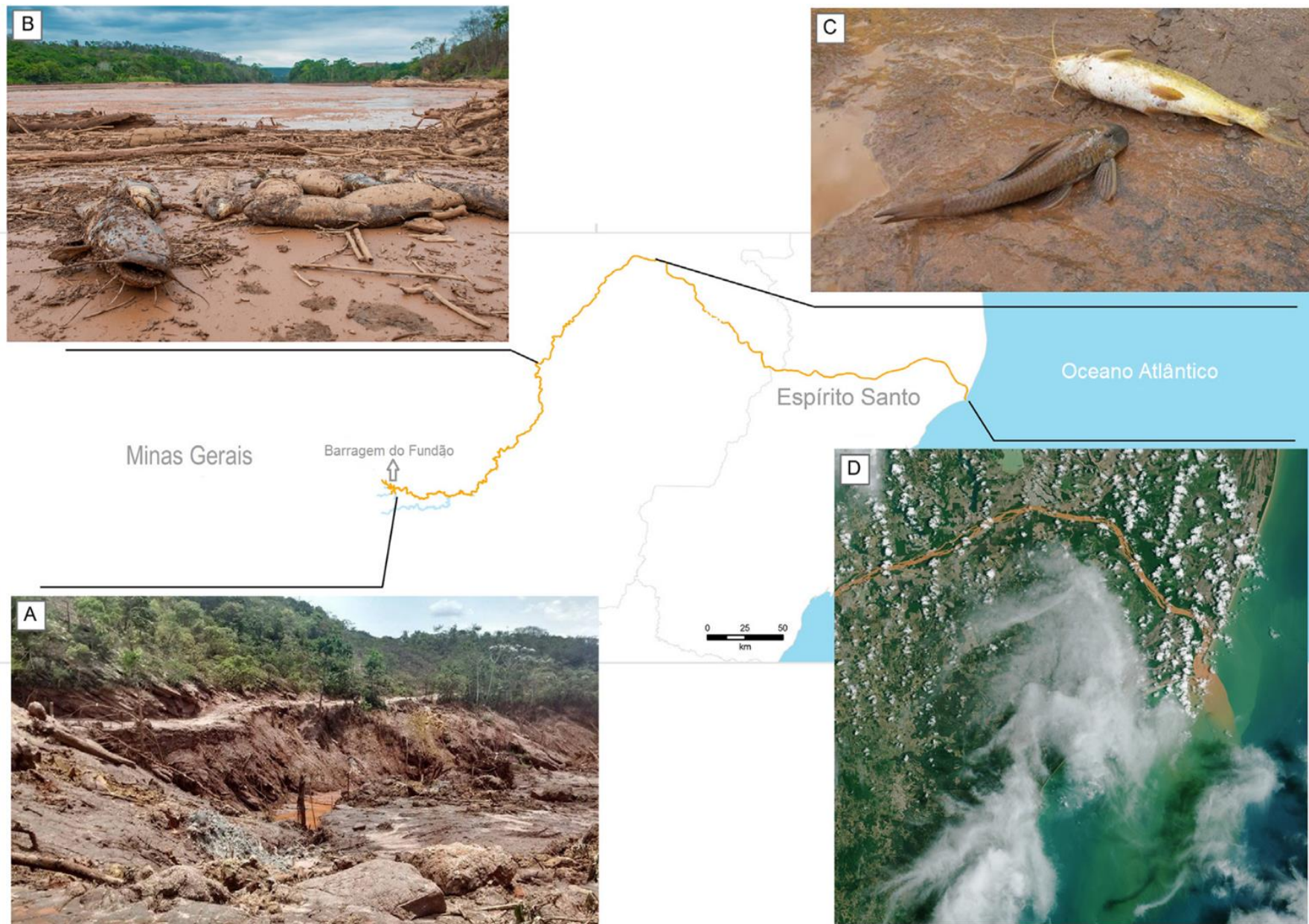
Danos aos ecossistemas do Rio Doce

A flora aquática, assim como a fauna, foi severamente afetada pela lama vinda da barragem rompida.

Logo após a chegada da lama até os dias atuais, a turbidez da água aumentou 6000 vezes o limite estabelecido, o que prejudica a fotossíntese das plantas e também toda a cadeia alimentar do meio.

Danos aos ecossistemas do Rio Doce

A flora presente nas margens e imediações do rio também foram prejudicados. Nas margens do rio, devastadas pela onda de lama e rejeitos, até os dias atuais mantêm-se com poucas plantas.



A-D Impacto da onda de lama no rio Doce. (A) A imagem no canto inferior esquerdo mostra o rio alguns dias após o desastre no município de Camargos, (B) no canto superior esquerdo peixes mortos perto do Parque do Rio Doce, (C) no canto superior direito peixes mortos em Governador Valadares e (D) a fotografia no canto inferior direito mostra uma aérea da boca do rio Doce 25 dias após o estourar da barragem.

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Danos aos ecossistemas marinhos



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Danos aos ecossistemas marinhos

Assim como ocorreu nas regiões de água doce, muitos peixes foram mortos assim que a onda de lama chegou até o lugar onde estavam, mas também tempos depois devido a problemas originados pelos sedimentos.

Além da morte de muitos peixes, atividades voltadas para a pesca foram interrompidas.

Danos socioeconômicos e culturais

Por onde passou, a lama de rejeitos deixou destruição econômica e material;

Com o rompimento da barragem, 19 pessoas morreram e muitas outras desabrigadas. ¹

Danos socioeconômicos

Atividades pesqueiras, a principal fonte de subsistência de muitas das famílias que viviam às margens do rio Doce e na região do Delta do mesmo foram forçados a abandonar seus trabalhos.

Danos socioeconômicos

Por onde a onde rejeitos passou, deixou a destruição de vidas, plantações, casas, meios de sobrevivência, deixando pessoas sem emprego e com vícios e problemas psicológicos. ¹⁻³

Danos socioeconômicos

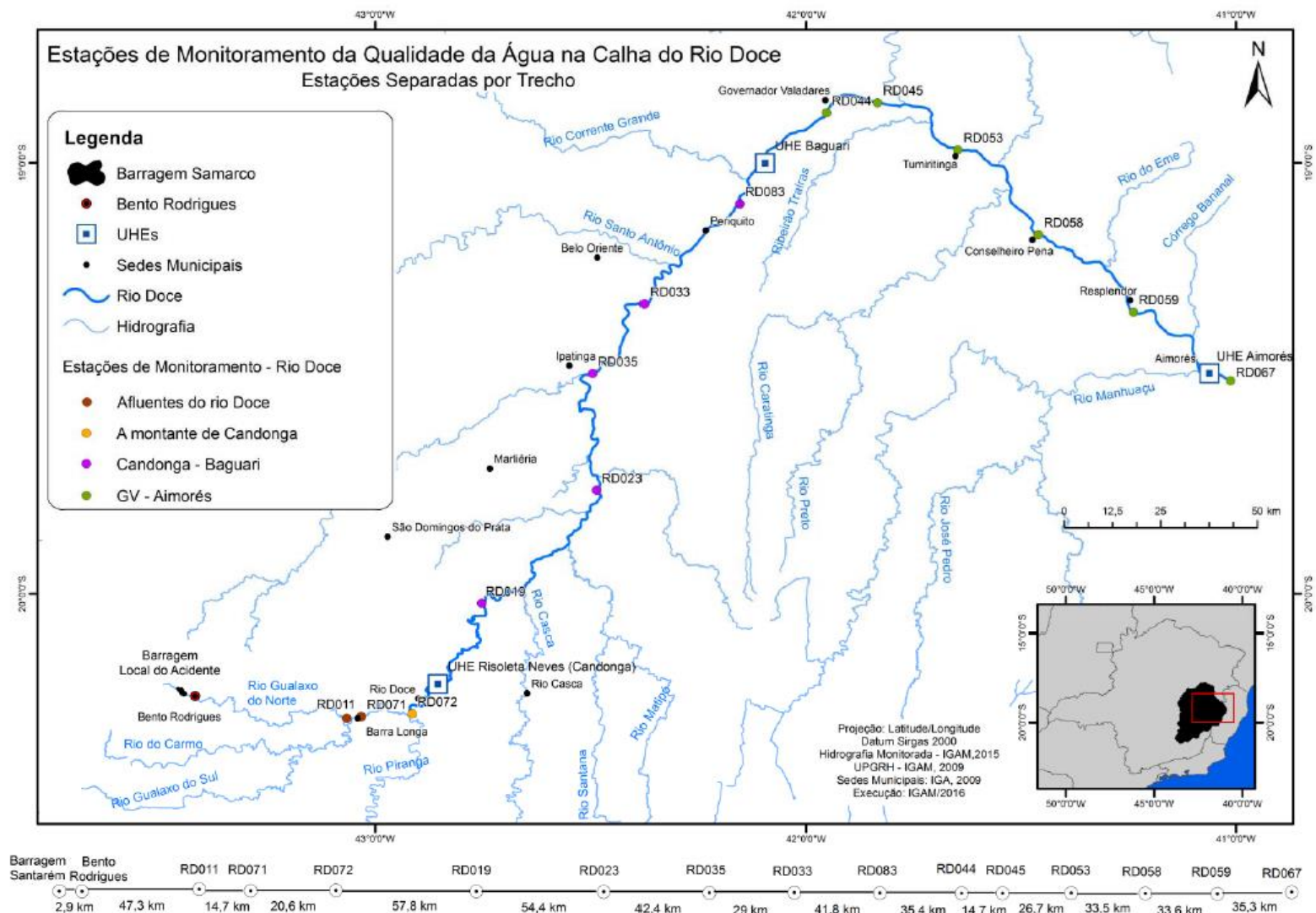
A usina hidrelétrica Risoleta Neves, a cerca de 120 km de Fundão, antes utilizada na produção de energia, após o desastre teve que interromper a geração de energia devido ao grande número de rejeitos além de conter cerca de 10 milhões de m³ de resíduos. ²

Danos socioeconômicos e culturais

Com o desastre, 816 prédios foram danificados, dentre eles prédios históricos;

Rotas turísticas, 21 km de estradas rurais, cavernas e sítios arqueológicos também foram danificados. ²

Toxicidade dos rejeitos



Localização geográfica das estações de monitoramento na calha do rio Doce, organizadas por trecho.

Mina

Rompimento

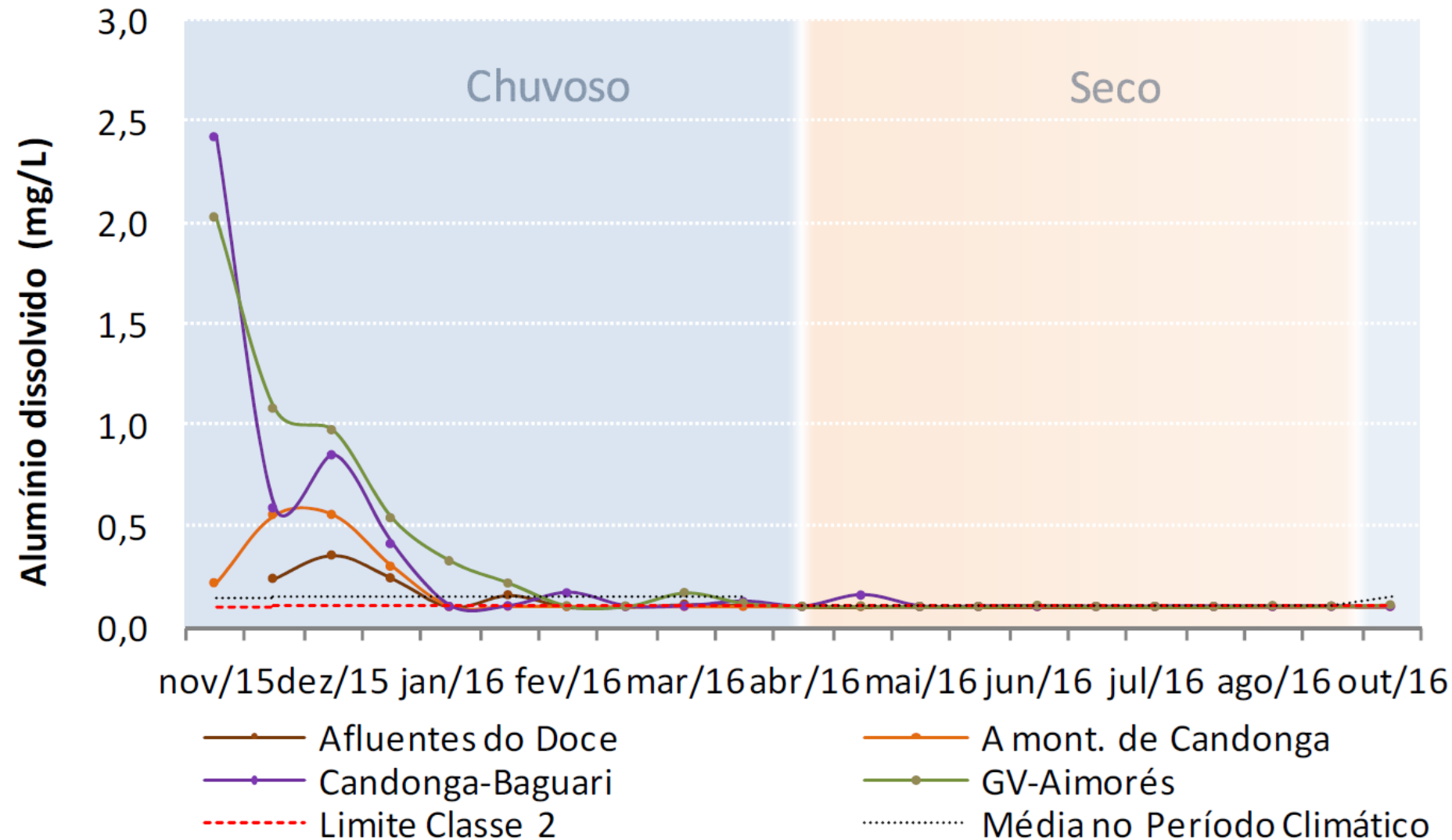
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Alumínio



Médias quinzenais dos resultados de alumínio dissolvido, obtidos no monitoramento emergencial, durante os períodos chuvoso e seco, nos quatro trechos avaliados.

Mina

Rompimento

Causas

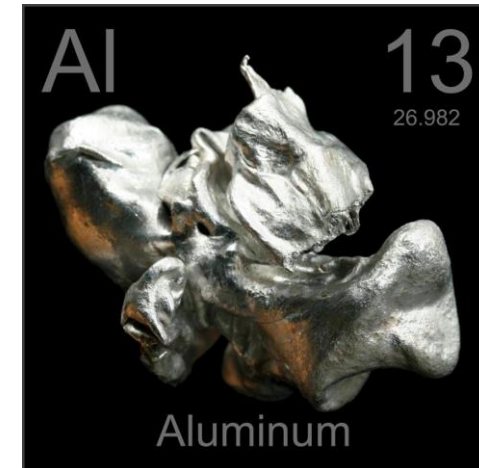
Danos

Rejeitos

Recuperação

Alumínio

- Não apresenta nenhuma função biológica significativa;
- Segundo a Organização Mundial da Saúde, atualmente se entende que a dose semanal tolerável é de 1 mg/kg;
- Tem-se sugerido que o alumínio possa estar relacionado com a doença de Alzheimer;
- Reduz o crescimento das plantas em solos ácidos;
- Reduz de número de peixes e anfíbios em lagos ácidos.



Mina

Rompimento

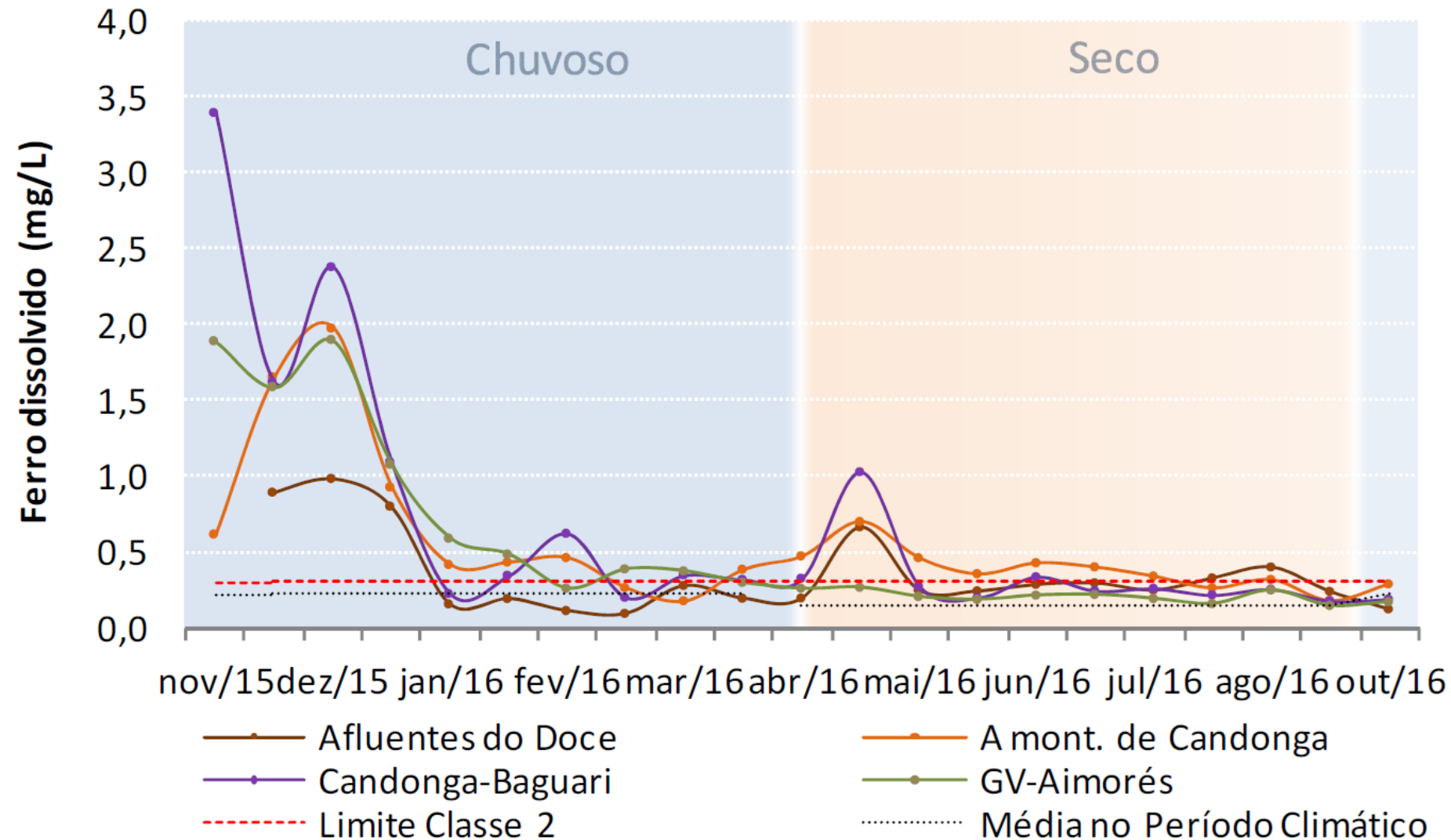
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Ferro



Médias quinzenais dos resultados de ferro dissolvido, obtidos no monitoramento emergencial, durante os períodos chuvoso e seco, nos quatro trechos avaliados.

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Ferro

- O ferro reage com peróxido produzindo radicais livres;



- A dose letal de ferro em crianças de 2 anos é de 3 gramas, 1 grama pode provocar um envenenamento importante;
- Provoca hemocromatose (doença que ocorre em virtude de seu excesso no organismo).



Mina

Rompimento

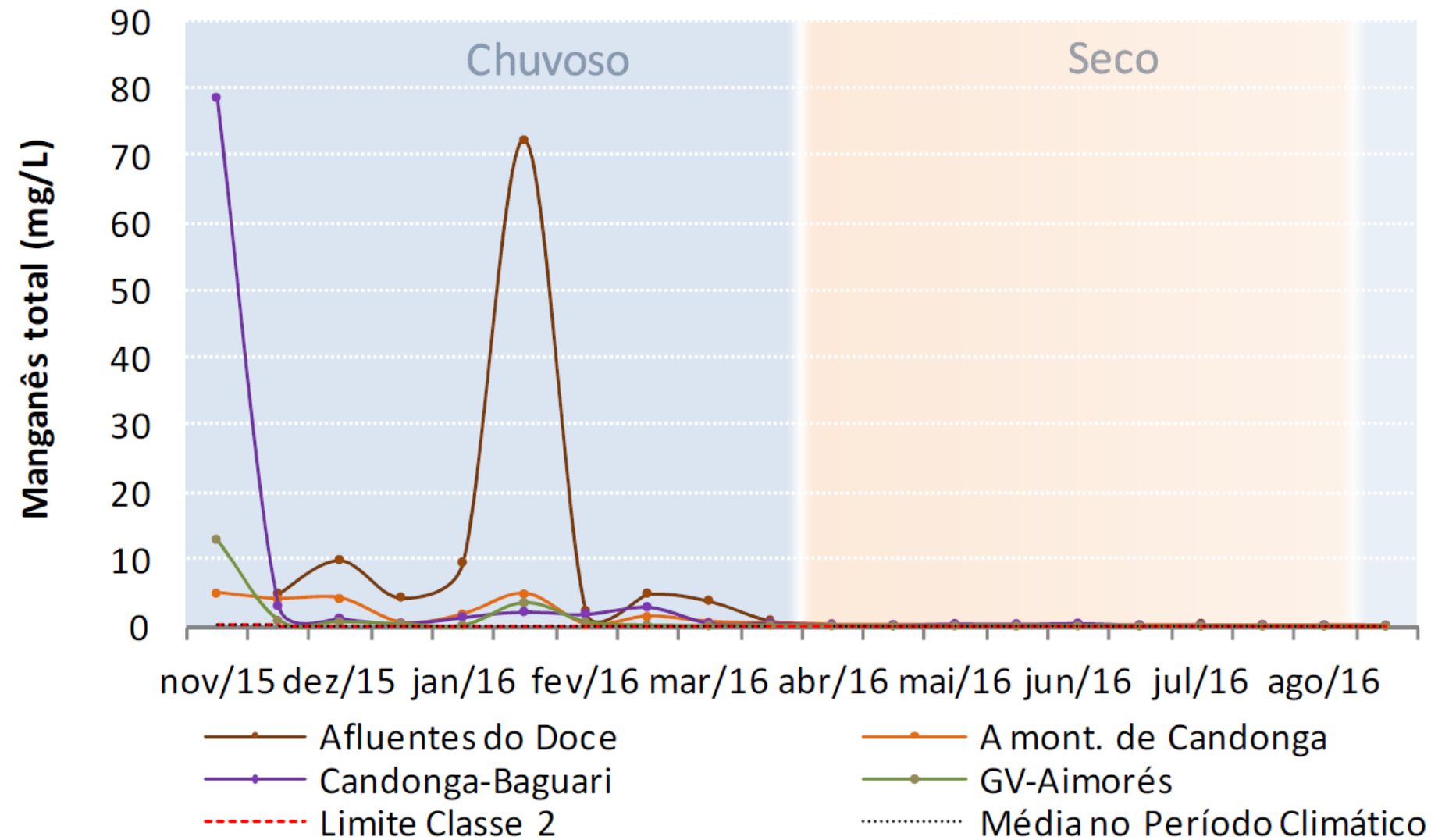
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Manganês



Médias quinzenais dos resultados de manganês total obtidos no monitoramento emergencial, durante os períodos chuvoso e seco, nos quatro trechos avaliados.

Mina

Rompimento

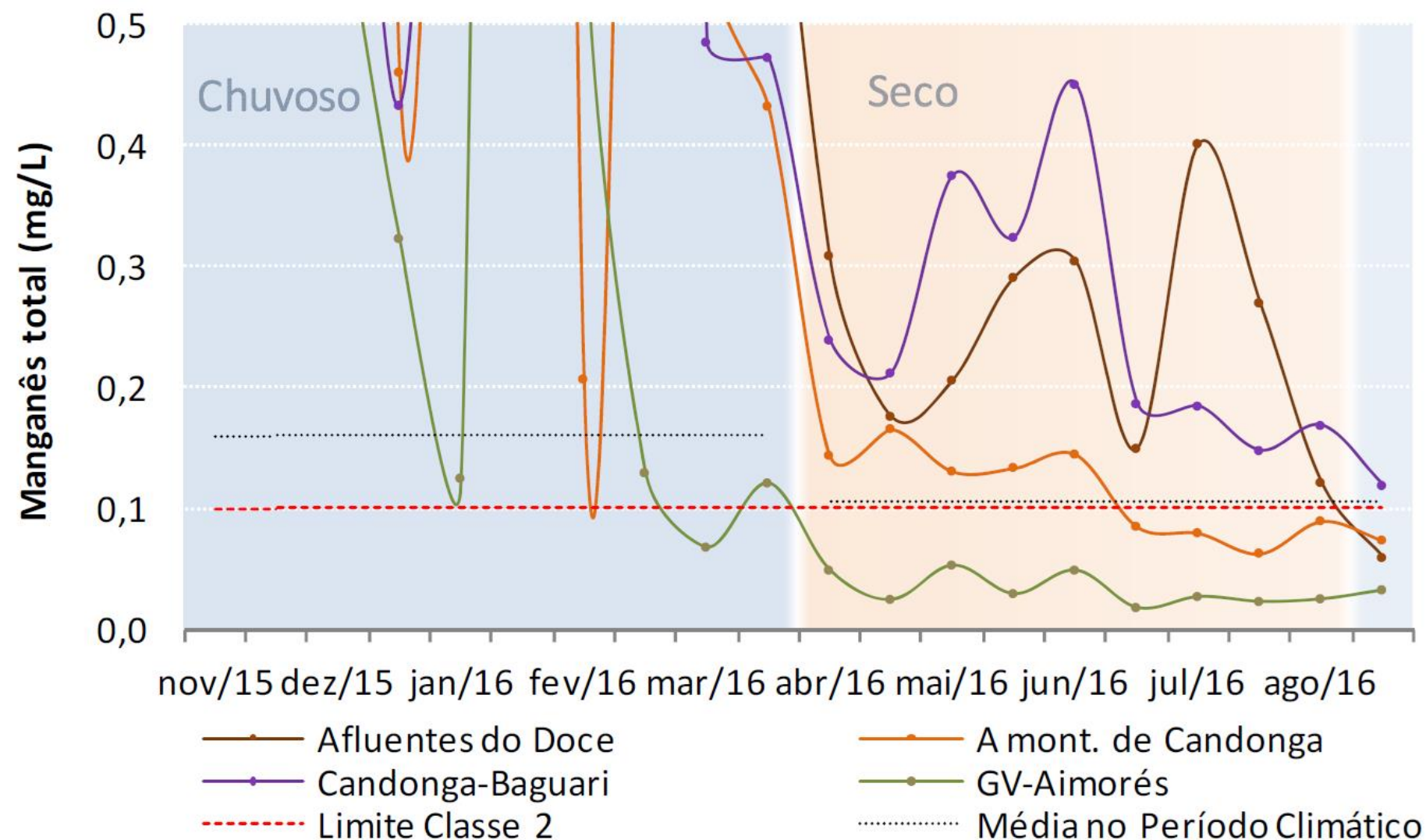
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Manganês (com escala maior)



Médias quinzenais dos resultados de manganês total obtidos no monitoramento emergencial, durante os períodos chuvoso e seco, nos quatro trechos avaliados.

Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Manganês

- MnCl_2 possui DL50 de cerca de 38 mg/kg por injeção em roedores;
- O manganismo pode provocar entre outros efeitos colaterais a anorexia, apatia, insônia e até mesmo alucinações;
- Potencial mutagênico;
- Reduz a fertilidade e produz efeitos teratogênicos.



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Toxicidade dos rejeitos

Parâmetros	1º trecho – Afluentes do rio Doce			2º trecho - Rio Doce a montante de Candonga			3º trecho – Candonga-Baguari			4º trecho - Governador Valadares a Aimores		
	Máx. antes do evento	Máx. após o evento	Máx. na última coleta*	Máx. antes do evento	Máx. após o evento	Máx. na última coleta	Máx. antes do evento	Máx. após o evento	Máx. na última coleta*	Máx. antes do evento	Máx. após o evento	Máx. na última coleta*
PERÍODO CHUVOSO												
Arsênio Total (mg/L)	0,0304	0,0036	0,0035	0,0088	0,0034	<0,001	0,0136	0,1080	0,0016	0,0073	0,0363	<0,001
Cádmio Total (mg/L)	0,0005	0,0008	<0,0005	0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0015	0,0158	<0,0005	0,0007	0,0346	<0,0005
Chumbo Total (mg/L)	0,0080	0,4460	0,0134	0,0080	0,0563	<0,005	0,0310	1,6500	<0,005	0,0670	0,4420	<0,005
Cobre dissolvido (mg/L)	0,0083	<0,004	<0,004	0,0048	<0,004	<0,004	0,0280	0,6750	<0,004	0,0120	0,0157	<0,004
Cromo total (mg/L)	0,0400	0,2460	<0,04	0,0400	<0,04	<0,04	0,0500	2,8630	<0,04	0,0900	0,3200	<0,04
Mércúrio Total (µg/L)	0,2000	0,8890	<0,20	0,2000	0,2930	<0,20	0,2000	0,2390	<0,20	0,2500	0,5290	<0,20
Níquel Total (mg/L)	0,0111	0,1440	0,0087	0,0090	0,0238	<0,004	0,0280	2,2800	0,0053	0,0242	0,2500	<0,004
Zinco Total (mg/L)	0,0400	0,1271	<0,02	0,0548	0,0254	<0,02	0,6100	0,2638	0,0354	0,1834	0,1386	<0,02
PERÍODO SECO												
Arsênio Total (mg/L)	0,0393	0,00183	0,00178	0,02439	0,00132	<0,001	0,0071	0,00245	<0,001	0,0027	0,00126	<0,001
Cádmio Total (mg/L)	0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0012	<0,0005	<0,0005
Chumbo Total (mg/L)	0,0136	<0,005	<0,005	0,01385	<0,005	<0,005	0,025	0,0203	<0,005	0,029	<0,005	<0,005
Cobre dissolvido (mg/L)	0,00717	0,04	<0,004	0,00546	0,0285	<0,004	0,411	0,217	<0,004	0,011	0,231	<0,004
Cromo total (mg/L)	0,04	<0,04	<0,04	0,04	<0,04	<0,04	0,05	<0,04	<0,04	0,05	<0,04	<0,04
Mércúrio Total (µg/L)	0,2	<0,20	<0,20	0,2	<0,20	<0,20	0,2	<0,20	<0,20	0,2	<0,20	<0,20
Níquel Total (mg/L)	0,00793	<0,004	<0,004	0,0193	<0,004	<0,004	0,018	0,0103	<0,004	0,011	0,0521	<0,004
Zinco Total (mg/L)	0,0597	0,1093	0,0331	0,074	0,0267	0,0267	0,16	0,1129	0,0442	0,1285	0,574	0,0893

* A última coleta, no período seco, foi realizada nos dias 29, 30 e 31 de agosto de 2016. E, no período chuvoso, foi realizada em 10 a 14 de outubro de 2016.

Em Vermelho: violação ao limite de classe 2.

Concentrações máximas registradas de metais pesados e arsênio total no trecho mineiro do rio Doce, por período climático.

Mina

Rompimento

Causas

Danos

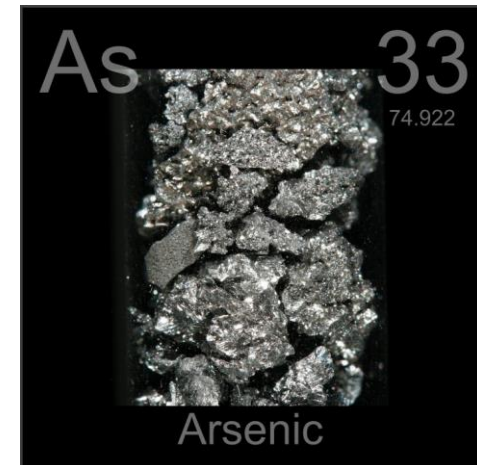
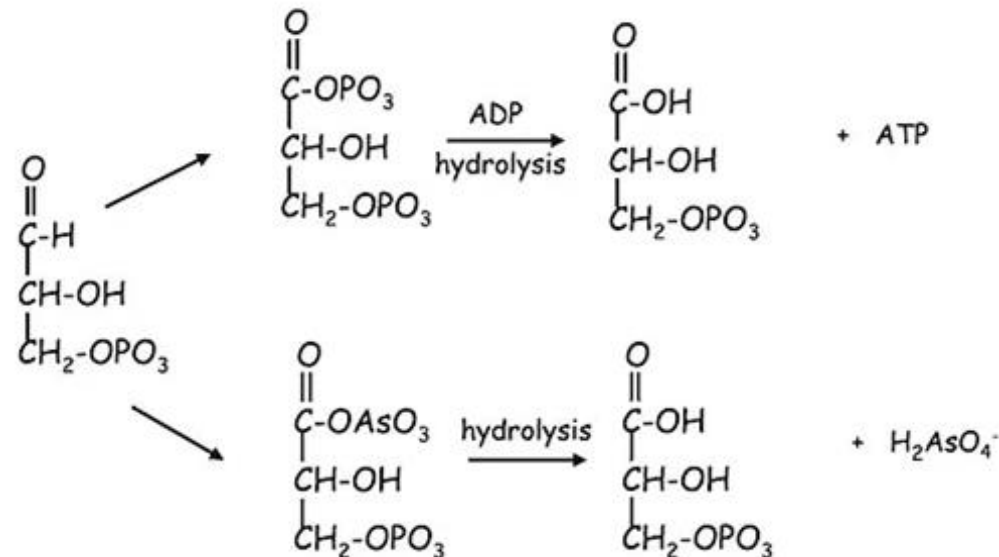
Rejeitos

Recuperação

Arsênio

- Absorção: Via inalatória, digestiva e dérmica;
- Encontrado na natureza principalmente em forma de sulfeto;
- Mais tóxico em sua forma inorgânica;
- Inibidor da respiração celular.

7
N
Nitrogênio
15
P
Fósforo
33
As
Arsênio



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Cádmio

- Absorção: Via inalatória e digestiva;
- Ação competitiva com elementos funcionais essenciais tais como o Zn, Cu, Fe e Ca;
- União forte aos grupos -SH das proteínas intracelulares.

30
Zn
Zinco
48
Cd
Cádmio
80
Hg
Mercúrio



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Mercúrio

- Absorção: Via inalatória, digestiva e dérmica;
- Extremamente tóxico em sua forma orgânica (ex.: metilmercúrio);
- Provoca diminuição na resposta imunológica, inibição da contracção muscular e aumento da inibição neuronal.

30
Zn
Zinco
48
Cd
Cádmio
80
Hg
Mercúrio



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Chumbo

- Absorção: Via inalatória e digestiva;
- É depositado nos ossos, dentes e cabelos;
- Provoca alterações no sistema nervoso e desvios da síntese hémica;
- Extraordinariamente prejudicial ao cérebro e ao sistema nervoso em geral.



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Cromo

- Absorção: Via inalatória, digestiva e dérmica;
- Cr^{6+} é altamente carcinógeno e afeta o sistema imunológico de seres humanos;
- Irrita os olhos, a pele e as mucosas;
- A exposição crônica pode provocar danos permanentes aos olhos.



Mina

Rompimento

Causas

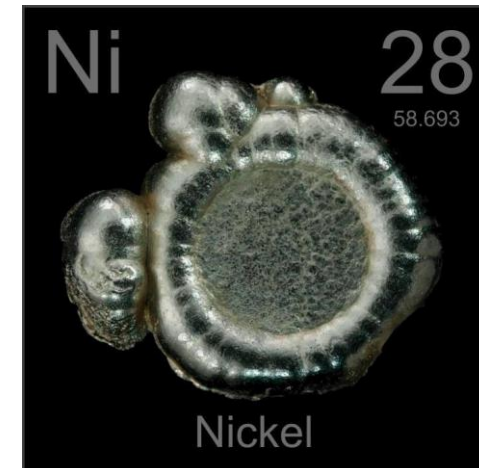
Danos

Rejeitos

Recuperação

Níquel

- Absorção: Via inalatória e dérmica;
- Compostos inorgânicos de níquel são agentes carcinógenos;
- Sugere-se que o níquel possui um efeito mimetizante ao cálcio no centro termoregulatório hipotalâmico, resultando em hipotermia.



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Ações de recuperação

Criação da Fundação Renova

A Fundação Renova nasceu após a assinatura do Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC) entre Samarco, com o apoio de suas acionistas, Vale e BHP Billiton, e o Governo Federal, os Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a Agência Nacional de Águas (ANA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Fundação Nacional do Índio (Funai), o Instituto Estadual de Florestas (IEF), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF) e a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH).

Usina de Candonga

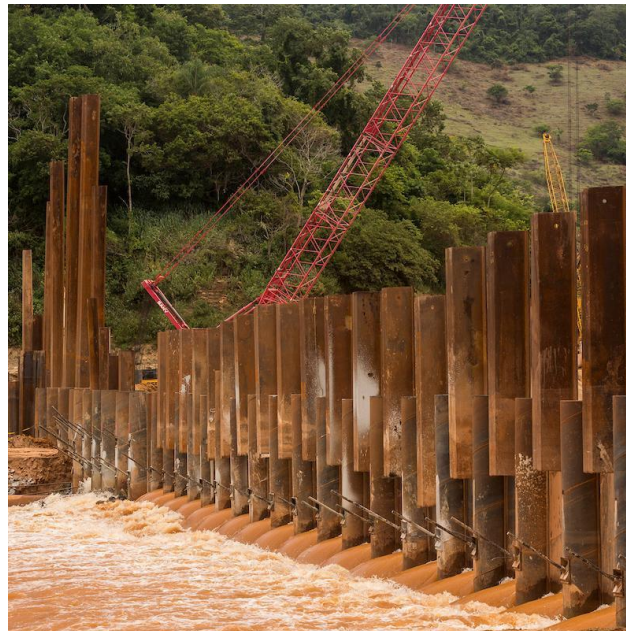
A Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, mais conhecida como Candonga, teve um papel decisivo para evitar uma tragédia ainda mais devastadora pelo rompimento da barragem de Fundão. Seu reservatório conteve um grande volume da porção mais pesada do rejeito, o que ajudou a reduzir a velocidade com que a lama em movimento seguiu pelo rio Doce.

Calcula-se que cerca de 10,5 milhões de metros cúbicos de rejeito ficaram retidos no reservatório de Candonga, ou seja, cerca de um quarto do que vazou de Fundão.

Limpeza do reservatório



Conclusão do primeiro de três barramentos metálicos no rio Doce para evitar assoreamento adicional do reservatório da usina de Candonga por rejeitos - abril/2017



Conclusão do segundo de três barramentos metálicos no rio Doce para evitar assoreamento adicional do reservatório da usina de Candonga por rejeitos - agosto/2017



Início das obras na fazenda floresta - área adquirida para a deposição dos rejeitos dragados na UHE Risoleta Neves (Candonga) - agosto/2017

Dragagem de rejeitos



A **draga** é um tipo especial de embarcação, projetado para executar várias funções que digam respeito ao fundo de qualquer curso d'água, não muito profundo e para limpar a água.

Uma **draga móvel** é uma embarcação para desassoreamento dos leitos dos rios e mares, tendo capacidade própria para transportar e bascular os dejetos e/ou minérios. Há dragas móveis de diversas capacidades e tamanhos.

Início da operação de dragagem de rejeitos da usina de Candonga
- fevereiro/2016

Contenção em fundão

Após o rompimento da barragem, teve início um trabalho de prevenção de novos vazamentos — 12,9 milhões de metros cúbicos de lama restaram no interior do reservatório e outros 4,5 milhões se espalharam pela área da mineradora.

Nova Santarém



Abaixo de Nova Santarém, foram construídos os diques de contenção e filtragem S3 e S4. O primeiro, no limite da propriedade da mineradora; o segundo, onde o córrego Santarém encontra o rio Gualaxo do Norte.

Fim da reforma e ampliação de Santarém, que passa a ser uma barragem de rejeito e recebe o nome de Nova Santarém - Julho/2017

Novos diques

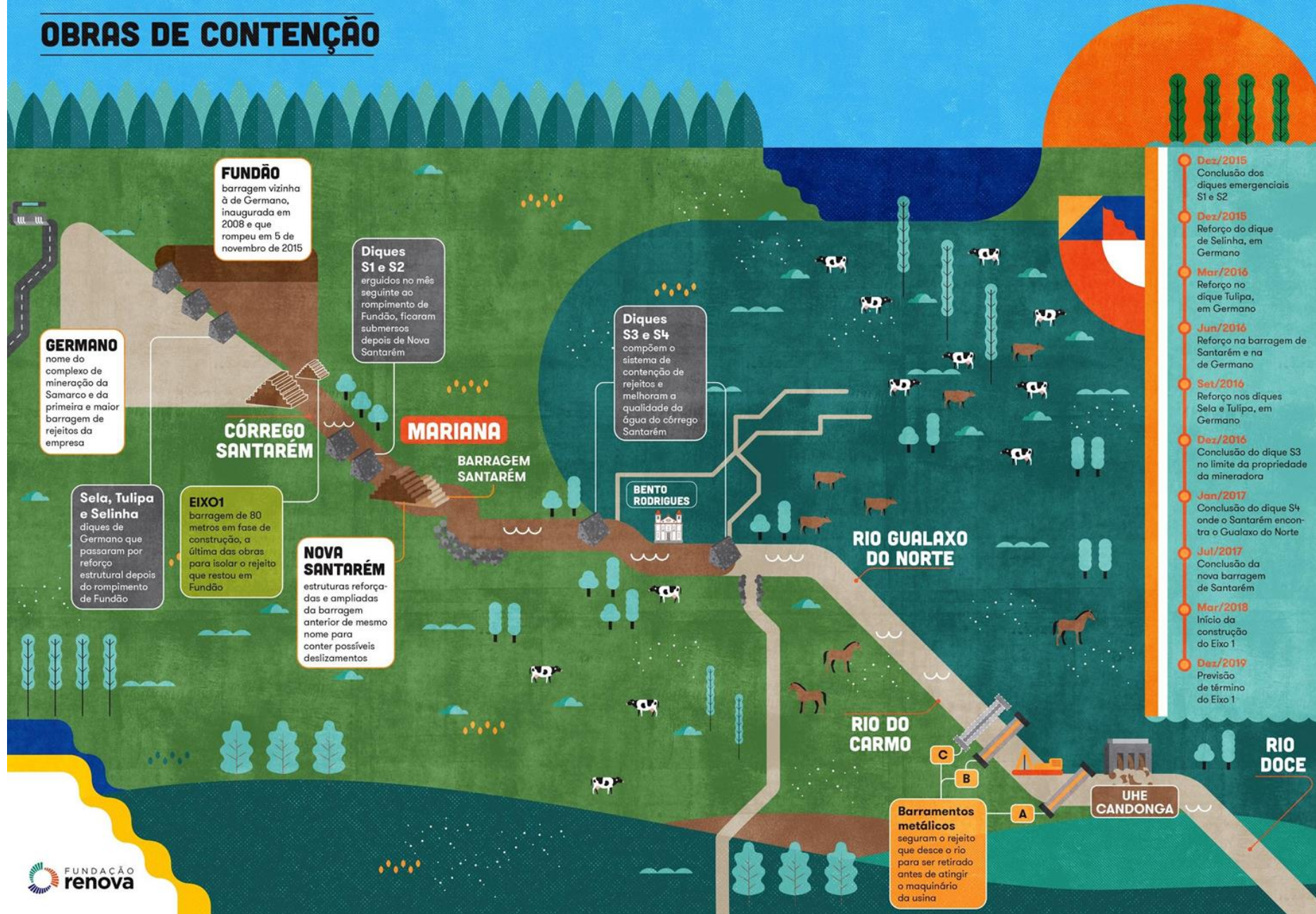


Abaixo de Nova Santarém, foram construídos os diques de contenção e filtragem S3 e S4.

O primeiro, no limite da propriedade da mineradora; o segundo, onde o córrego Santarém encontra o rio Gualaxo do Norte.

Entrega do dique S4, construído em área próxima do povoado de Bento Rodrigues, na confluência do córrego Santarém com o Rio Gualaxo do Norte - janeiro/2017

OBRAS DE CONTENÇÃO



Manejo de rejeitos

LEVANTAMENTO DE CAMPO

Coleta de amostras (de água, solo, sedimentos, vegetação etc.) para análises que ajudam a fundamentar as melhores soluções de destino do rejeito em cada localidade.

RECONSTRUÇÃO DE MARGEM

Correção e regularização dos contornos e inclinações das margens, com o auxílio de tratores, escavadeiras ou com ferramentas manuais para prevenir erosão.

RETENTOR DE SEDIMENTOS

Rolo de palha e fibras naturais, disposto como um cordão de isolamento em margens, para filtrar os sedimentos e impedir que cheguem à calha por ação das chuvas.

PLANTIO DE MATA CILIAR

Reflorestamento próximo às margens, com árvores nativas, para recomposição da mata que protege os rios de processos erosivos e fortalece o ciclo de renovação da água.

RENATURALIZAÇÃO

Disposição de troncos na calha, que aumentam ou diminuem a velocidade da água, para reproduzir características naturais do ambiente aquático, como nascedouros de peixes.

REVEGETAÇÃO

Semeadura de plantas de crescimento rápido, nas margens de córregos e rios, para que suas raízes evitem a erosão de sedimentos e melhorem as condições do solo.

BIOMANTA

Manta de fibras naturais, que protege o solo contra erosão, contribui com a fertilidade dele ao se degradar, retém umidade e facilita a germinação de vegetação sobre ela.

DRENAGEM DE PLANÍCIES

Construção de caminhos para escoamento da água de chuva de planícies vizinhas às margens, de modo a canalizá-la em direção à calha e reduzir o risco de erosão.

Mina

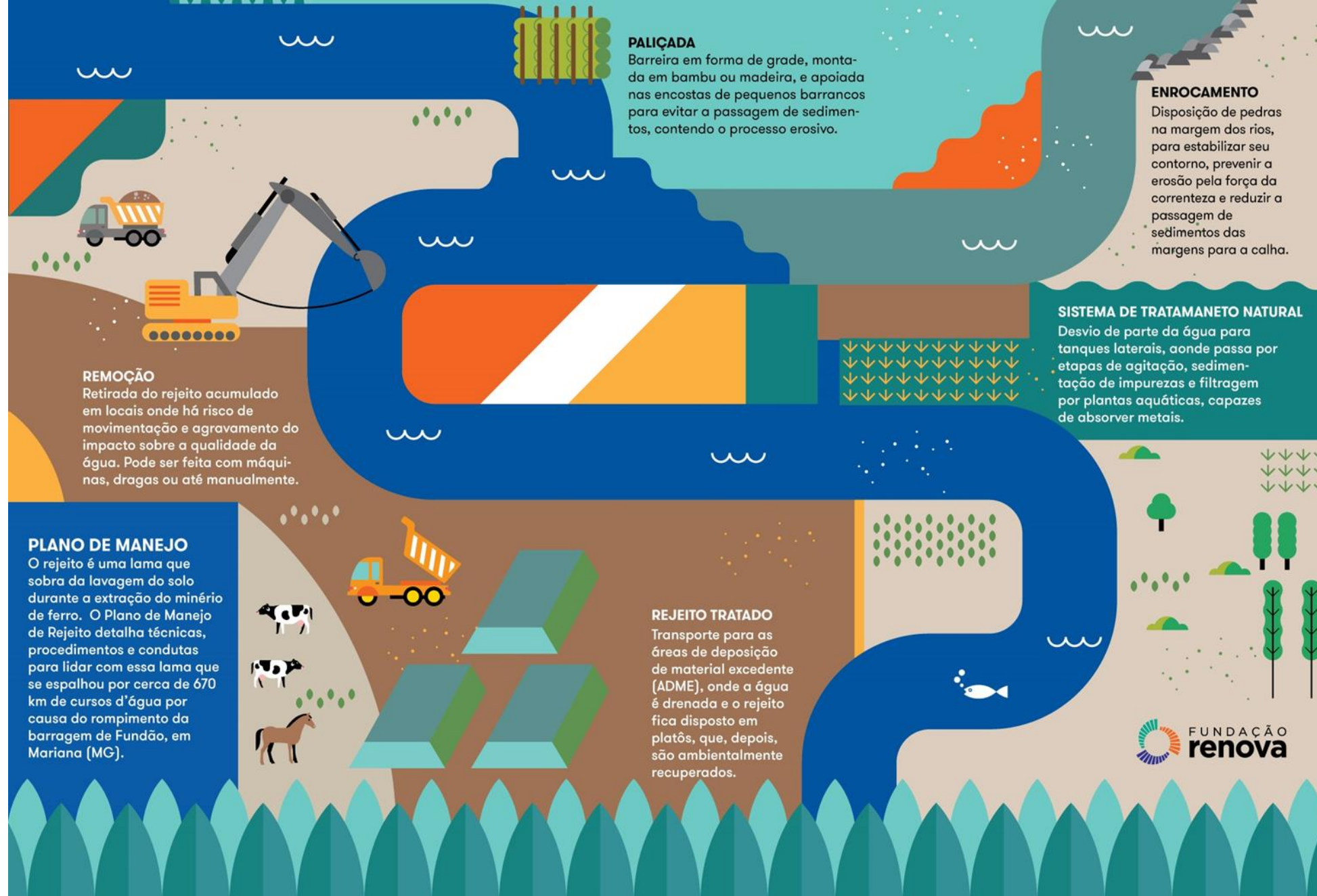
Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação



Mina

Rompimento

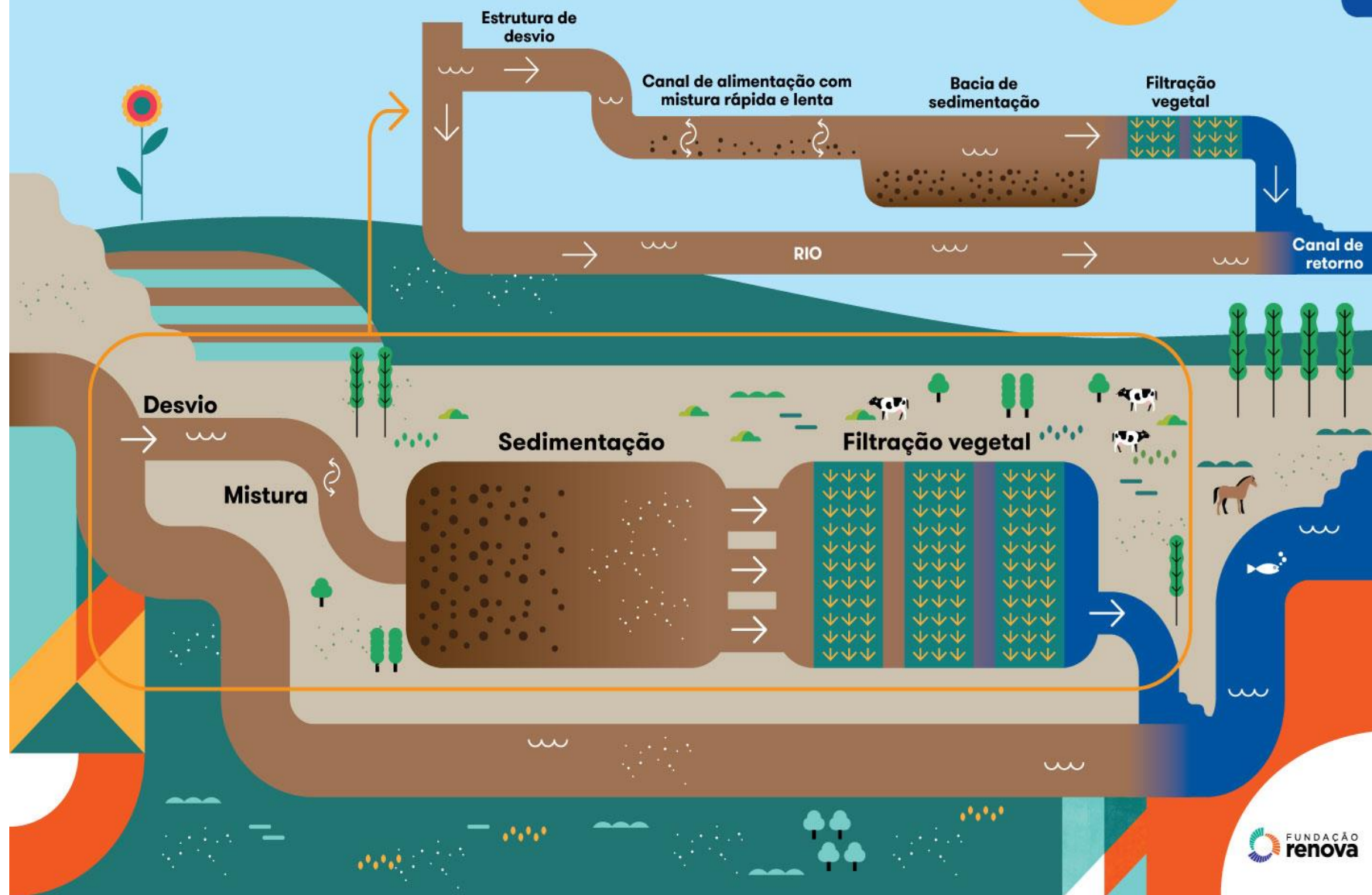
Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO NATURAL



Mina

Rompimento

Causas

Danos

Rejeitos

Recuperação

Biomantas



- As biomantas antierosivas protegem imediatamente o solo, até que a vegetação se estabeleça.
- As biomantas antierosivas são fabricadas industrialmente, a partir de fibras vegetais, palha agrícola, fibra de coco e fibras sintéticas. As fibras são costuradas industrialmente, formando uma trama resistente, protegidas por redes de polipropileno ou juta, o que permite programar sua degradabilidade.

Conclusão

- O rompimento da barragem causou problemas ambientais que podem ser irreversíveis;
- As leis e normas vigentes no período do acidente davam margem para que possíveis acidentes como esse pudessem acontecer; sendo assim, a regulamentação da construção de barragem para a contenção de rejeitos de mineradoras bem como o tratamento dos rejeitos deve ser repensada para que tais acidentes não se repitam;

Conclusão

- Muitas pessoas foram afetadas com o acidente; portanto, deve ser garantido que os danos causados sejam minimizados e que a saúde dessas seja acompanhado.

Referências

1. Carmo, F.F.; et al. *Fundão tailing dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context*. Perspectives in Ecology and Conservation, 15, 2017, p. 145-151.
2. Fernandes, G.W.; et al. *Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil*. Natureza & Conservação, 14, 2016, p. 35-45.
3. Katilaine Chagas. *Tragédia no Rio Doce: dois anos depois da lama, o drama do alcoolismo*, Gazeta Online, acesso em 04/11/2017:
<http://www.gazetaonline.com.br/noticias/cidades/2017/11/tragedia-no-rio-doce-dois-anos-depois-da-lama-o-drama-do-alcoolismo-1014106003.html>.
4. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais do rio Doce no estado de Minas Gerais*. Encarte especial sobre a qualidade das águas do rio Doce após 1 ano do rompimento de barragem de Fundão - 2015/2016.