

Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos – PMQQS

Relatório
Parcial

Junho 2018

Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos – PMQQS

Relatório Parcial

Junho 2018

Apoio:

SUMÁRIO EXECUTIVO

Em atendimento às cláusulas 177, 178 e 179 do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta – TTAC firmado em decorrência do rompimento da barragem de Fundão, a Fundação Renova desenvolveu, em parceria com os órgãos ambientais e agências de água membros da Câmara Técnica de Segurança Hídrica e Qualidade da Água (CT-SHQA), o Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos - PMQQS com objetivo de acompanhar, ao longo do tempo, a recuperação da bacia do rio Doce e zona costeira e estuarina adjacentes. O programa iniciou-se em 31 de julho de 2017 e possui caráter permanente, abrangendo também a avaliação de riscos toxicológicos e ecotoxicológicos, além de monitorar a efetividade das intervenções de recuperação ambiental realizadas por meio da avaliação sistemática da qualidade das águas e dos sedimentos. Para apresentações dos primeiros resultados do PMQQS, foi elaborado um relatório parcial em que foram selecionadas quinze variáveis físicas e químicas para o período de amostragem compreendido entre agosto de 2017 e janeiro de 2018 para os rios diretamente atingidos pela lama de rejeitos do rompimento da barragem, sendo eles o rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce. Os resultados de turbidez e sólidos suspensos totais mostraram que existe uma tendência de variação sazonal, com maiores concentrações no período chuvoso, padrão inverso ao observado para a condutividade elétrica. A turbidez variou de 1,52 UNT (RCA01, setembro/2017) a 869 UNT (RGN06, dezembro/2017) e os sólidos suspensos totais entre 10 mg.L⁻¹ (RDO12, agosto/2017) e 334 mg.L⁻¹ (RDO10, dezembro/2017). A condutividade elétrica nos rios variou entre 43 µS.cm⁻¹ (RGN04, dezembro/2017) a 261 µS.cm⁻¹ (RDO05, outubro/2017), com exceção do ponto próximo a foz do rio Doce que possui interferência da maré atingindo até 1800 µS.cm⁻¹ (RDO16, outubro/2017). Para o oxigênio dissolvido, nenhum padrão de variação foi observado, mas houve registros de valores inferiores ao limite mínimo preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2, principalmente no rio Doce. Os resultados de metais (totais e dissolvidos) apresentaram tendência de aumento de concentração nas campanhas realizadas entre novembro/2017 e

janeiro/2018, indicando uma influência do período chuvoso na variação das concentrações de metais nas águas amostradas, sendo provável a transferência de contaminantes do ambiente terrestre para o ecossistema aquático adjacente. Ferro e manganês foram os elementos que mais ultrapassaram os limites de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce.

Palavras-chave: metais, monitoramento, turbidez, rio Doce.

ÍNDICE

1 - APRESENTAÇÃO.....	1
2 - EQUIPE TÉCNICA	2
3 - INTRODUÇÃO	3
4 - OBJETIVOS.....	6
5 - METODOLOGIA	7
5.1 - Frequência e malha amostral	7
5.2 - Parâmetros monitorados	11
5.3 - Amostragem, armazenamento e preservação das amostras	12
5.4 - Tratamento de dados	13
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
6.1 - Precipitação	15
6.2 - Turbidez.....	17
6.3 - Condutividade elétrica.....	23
6.4 - Sólidos Suspensos totais.....	29
6.5 - Oxigênio dissolvido.....	36
6.6 - Metais e Metalóide	42
6.6.1 - Arsênio total.....	43
6.6.2 - Alumínio dissolvido.....	49
6.6.3 - Ferro dissolvido	55
6.6.4 - Manganês total.....	61
6.6.5 - Cobre dissolvido	67
6.6.6 - Cromo total	72
6.6.7 - Chumbo total.....	78
6.6.8 - Cádmio total.....	84
6.6.9 - Níquel total	89
6.6.10 - Mercúrio total	95
6.6.11 - Zinco total	100
7 - CONCLUSÕES	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

ANEXOS

- Anexo 1 Arquivos Shapefile - Mapa de Localização das Estações de Amostragem Manual Do PMQQS nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce
- Anexo 2 Arquivo Excel - Tabela de dados parciais do PMQQS de agosto/2017 a janeiro/2018

1 - APRESENTAÇÃO

Este relatório parcial apresenta os resultados de monitoramento do período de amostragem de agosto/2017 a janeiro/2018, em 29 (vinte e nove) pontos de amostragem distribuídos na bacia do rio Doce, sendo 8 (oito) no rio Gualaxo do Norte (RGN), 6 (seis) rio do Carmo (RCA) e 15 (quinze) rio Doce (RDO), contemplando resultados obtidos para 15 (quinze) variáveis limnológicas do Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS) da Fundação Renova.

2 - EQUIPE TÉCNICA

PROFISSIONAL DA ECOLOGY BRASIL E E&E	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	REGISTRO GERAL/CTF IBAMA
Gina Luísa Carvalho Boemer	Bióloga (UFSCar), mestre e doutora em Engenharia Ambiental (USP)	Coordenação Geral	CRBio 35253/04 IBAMA 590812
Michele Lima	Bióloga, mestre em Ecologia (UFJF)	Coordenação Técnica	CRBio 62141/04 IBAMA 4905761
Rafael Azevedo	Biólogo (UNIGRANRIO), mestre em Ecologia (UFJF) e doutor em Ecologia e Evolução (UERJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 65746/02 CTF 2978596I
Vinicius Neres de Lima	Biólogo (UERJ), mestre e doutor em Ecologia e Evolução (UERJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 71212/02
Maria Isabel de Almeida Rocha	Bióloga (UNIRIO), mestre e doutora em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 29943/02
Petrus Magnus Amaral Galvão	Biólogo, mestre em Ecologia e doutor em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	IBAMA 499671
Carolina Davila Domingues	Bióloga (UNISINOS/RS), mestre em Botânica (UFRGS) e doutora em Botânica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 53691-03 CTF 3312907
Déborah Regina de Oliveira e Silva	Bióloga, mestre e doutora em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (UFMG)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 87804-04
Jefferson Rocha da Silva	Oceanógrafo (UERJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	IBAMA 7157608
Vanessa Souza Romão	Analista de sistemas	Editoração	IFP 104.169.94-1

3 - INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica cobre grande parte da drenagem do rio Doce, que após décadas sob pressão antrópica, foi reduzido a menos de 8% de sua área original (CONSERVATION INTERNATIONAL, 2000). A cobertura vegetal da bacia do rio Doce teve sua devastação generalizada iniciada a partir da década de 1930, estendendo-se nas três décadas seguintes. Esse processo resultou em intensa fragmentação e eliminação da floresta, o que se repete por toda a paisagem da bacia do rio Doce. O histórico de ocupação e uso do solo dessa região levou a um intenso processo de erosão, culminando em um extenso assoreamento em toda a drenagem. Além da carga do esgoto doméstico “in natura” proveniente do expressivo contingente populacional que habita a área drenagem do rio Doce, também há a entrada de uma considerável descarga de diferentes atividades industriais: mineração, siderúrgicas, fábricas de celulose, usinas de açúcar e de álcool, frigoríficos e curtumes. Esse panorama vem contribuindo para a progressiva perda da qualidade da água do rio Doce e de seus afluentes (ANA, 2001).

A atividade de mineração é uma das atividades industriais com maior destaque na bacia do Doce, onde se observam diversas barragens utilizadas para deposição de rejeitos dessa atividade. No Brasil, há registros de alguns acidentes envolvendo barragens ou pilhas de rejeitos de mineração (ANA, 2016; LOPES, 2016).

Em 5 de novembro de 2015, uma barragem de rejeitos da mineradora Samarco (barragem de Fundão) rompeu liberando 43,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos. Uma parte, 4,5 milhões de metros cúbicos, ficou retida dentro da própria área da mineradora. O restante, 39,2 milhões de metros cúbicos, desceu pelo córrego Santarém e seguiu pelos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce até o mar. No trajeto da onda de lama, metade (ou cerca de 20 milhões de metros cúbicos) se espalhou por calhas, margens e planícies dos cursos d’água até a usina hidrelétrica Risoleta Neves, distante 113 km de Fundão. Calcula-se que 10,5 de milhões de metros cúbicos tenham se depositado no fundo do reservatório da usina Risoleta Neves. A outra metade que passou pelas

comportas era a parte mais fina do rejeito. Ela atingiu cerca de 550 km até alcançar o mar, misturada à água do rio Doce (Renova, 2018).

As alterações na qualidade da água causaram interrupção no fornecimento de água à população dos municípios e distritos com sistemas de abastecimento diretamente dependentes do rio Doce. Além desse, entre outros impactos do rompimento da barragem que afetaram os usos da água, podem ser destacados: impactos na geração de energia hidrelétrica, na atividade industrial, na irrigação e pecuária, na pesca e na balneabilidade e turismo. Dada a dimensão do evento, com o volume de rejeitos que desceu o rio, e pela extensão de seus desdobramentos, se faz fundamental um acompanhamento periódico de parâmetros físicos, químicos e biológicos da bacia em termos quali-quantitativos (ANA, 2016).

Desde o rompimento da barragem de Fundão, foi implantado um monitoramento emergencial nos rios afetados, contemplando análises de amostras de água e sedimento ao longo da bacia do rio Doce. O monitoramento atual vem sendo realizado pela Fundação Renova através do Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS) desde 31 de julho de 2017 e terá duração prevista de 10 anos. A rede de monitoramento adotada pelo PMQQS é uma rede de tendência e foi definida em pontos estratégicos para o acompanhamento da evolução da qualidade das águas, identificação de tendências e apoio na elaboração de diagnósticos. Também foram inseridos pontos em que é realizado o monitoramento de vigilância para avaliação da qualidade das águas captadas no rio Doce que são utilizadas para consumo humano. As coletas manuais são realizadas com frequência mensal em 92 pontos de monitoramento. Os resultados medidos em 22 estações automáticas de monitoramento são transmitidos on-line com frequência horária para o poder público, formando uma rede de informação e alerta para subsidiar o planejamento preventivo dos principais sistemas de abastecimento público de água e também direcionar as ações de recuperação e acompanhamento da qualidade da água do rio Doce, aumentando a segurança da informação relativa à qualidade da água.

O PMQQS foi desenvolvido com base em um conteúdo mínimo definido pela Câmara Técnica de Segurança Hídrica e Qualidade da Água (CT-SHQA) com a participação da Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH). O PMQQS pode ser consultado na íntegra no link: http://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2017/07/pmqqqs_rev_dez-17.pdf.

4 - OBJETIVOS

Objetivo Geral

Apresentar os resultados parciais do PMQQS para os rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce, referente ao período de monitoramento compreendido entre Agosto de 2017 a Janeiro de 2018, disponibilizando mais agilmente informações a respeito da qualidade da água na bacia do rio Doce, após o rompimento da barragem de Fundão.

Objetivos Específicos

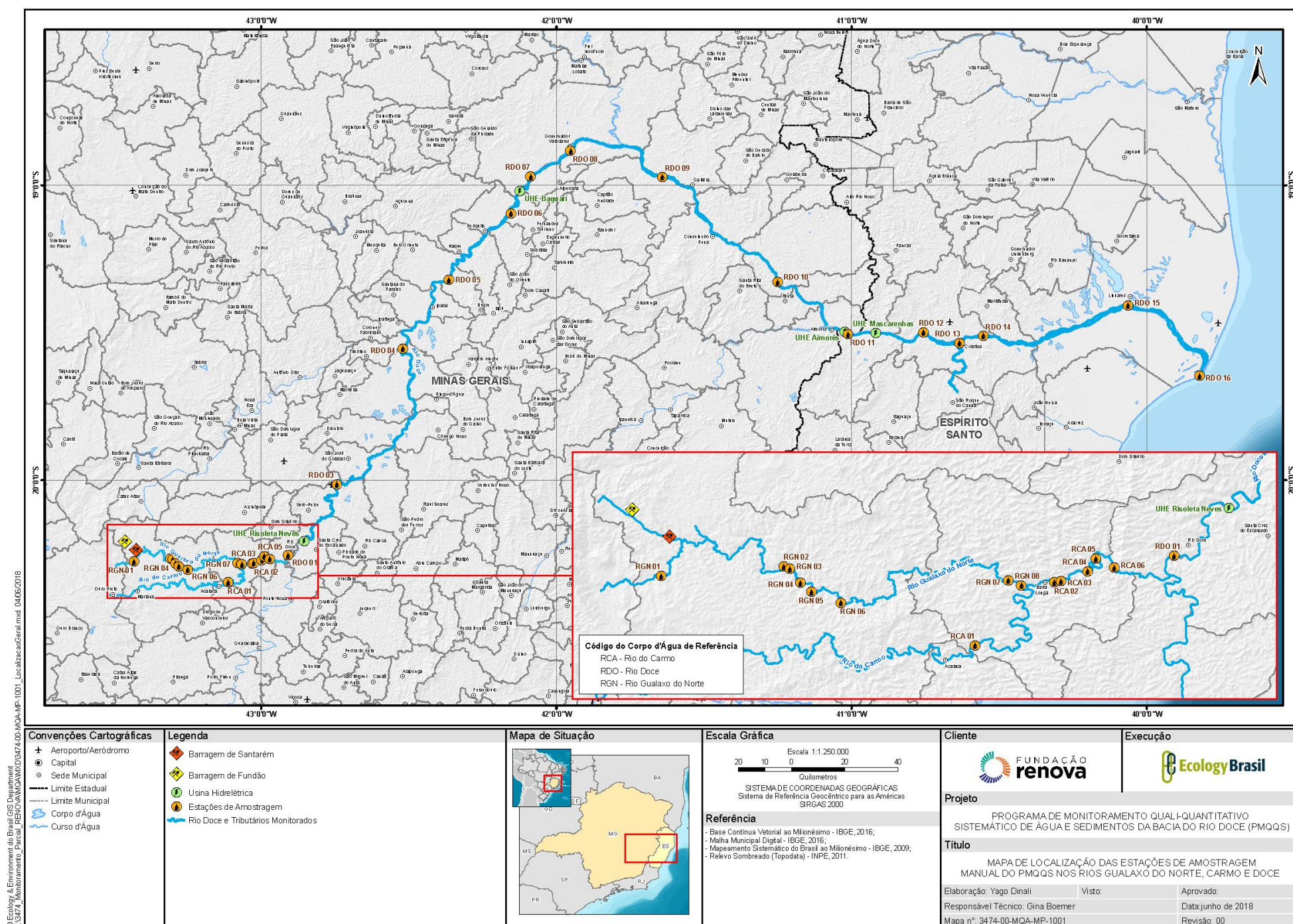
- Identificar as alterações limnológicas em pontos localizados nos rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce após o rompimento da barragem;
- Avaliar a ocorrência de gradientes espaciais e temporais das variáveis limnológicas para os rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce;
- Comparar os dados limnológicos atuais com dados históricos da bacia do rio Doce, quando disponível;
- Averiguar a compatibilidade da condição de qualidade da água em relação aos limites dos parâmetros preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005, para águas doces classe 2.

5 - METODOLOGIA

5.1 - Frequência e malha amostral

O relatório parcial abrange o período de agosto/2017 a janeiro/2018, com frequência mensal de amostragem. Para o relatório parcial foram selecionados 29 (vinte e nove) pontos de monitoramento, sendo: 8 (oito) no rio Gualaxo do Norte, 6 (seis) no rio do Carmo e 15 (quinze) no rio Doce. Todos os pontos de amostragem estão descritos no **Quadro 5-1**, identificados no mapa da **Figura 5-1** e nos arquivos shapefile (**Anexo 1**).

Figura 5-1 – Mapa de Localização das Estações de Amostragem Manual do PMQQS nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce



Quadro 5-1 - Descrição das estações de coleta, com os códigos de identificação e as coordenadas geográficas.

CURSO D'ÁGUA	CÓDIGO	NOME DO PONTO	DESCRIÇÃO DO PONTO DE AMOSTRAGEM	ESTAÇÃO DO IGAM e AGERH COINCIDENTE	COORDENADAS UTM (ZONA 23K) DATUM SIRGAS2000	
					LESTE	NORTE
Mina Samarco até a UHE Risoleta Neves						
Rio Gualaxo do Norte	RGN 01	Gualaxo Norte 01 - Mariana	Rio Gualaxo do Norte a montante da confluência com o córrego Santarém	-	663779,25	7757143,14
Rio Gualaxo do Norte	RGN 02	Gualaxo Norte 02 - Mariana	Rio Gualaxo do Norte a montante da foz do TG 17B	-	676805,49	7758078,12
Rio Gualaxo do Norte	RGN 03	Gualaxo Norte 03 - Mariana	Rio Gualaxo do Norte a montante da foz do TG 18	-	677461,11	7757827,83
Rio Gualaxo do Norte	RGN 04	Gualaxo Norte 04 - Mariana	Rio Gualaxo do Norte a montante da foz do TG 21	-	678531,13	7756233,61
Rio Gualaxo do Norte	RGN 05	Gualaxo Norte 05 - Mariana	Rio Gualaxo do Norte a jusante da foz do TG 21ª e a montante da foz do TG 21B	-	679690,28	7755191,94
Rio Gualaxo do Norte	RGN 06	Gualaxo Norte 06 - Mariana	Ponte em Paracatu	-	682779,51	7753947,13
Rio Gualaxo do Norte	RGN 07	Gualaxo Norte 07 - Mariana	Rio Gualaxo do Norte a cerca de 3,7 km da foz no rio do Carmo	-	700595,64	7756268,01
Rio Gualaxo do Norte	RGN 08	Gualaxo Norte 08 – Barra Longa	Em ponte entre Gesteira e Barra Longa, a cerca de 1,0 km da foz no rio do Carmo	RD011	701984,6	7755681,56
Rio do Carmo	RCA 01	Carmo 01 - Acaiaca	Ponte férrea sobre o rio do Carmo, em Acaiaca (MG)	-	697008,13	7748979,39
Rio do Carmo	RCA 02	Carmo 02 – Barra Longa	Em Barra Longa, após a confluência com o rio Gualaxo do Norte (sobre ponte na saída de Barra longa)	RD071	705472,67	7755982,85
Rio do Carmo	RCA 03	Carmo 03 – Barra Longa	Rio do Carmo a jusante do tributário TC 02	-	706204,33	7756113,31
Rio do Carmo	RCA 04	Carmo 04 – Barra Longa	Rio do Carmo a montante do tributário TC 04	-	709017,3	7757175,71
Rio do Carmo	RCA 05	Carmo 05 – Barra Longa	Rio do Carmo a jusante do tributário TC 06	-	709922,81	7758604,23

PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DA FUNDAÇÃO RENOVA - PMQOS

Relatório Parcial

3474-01-MQA-RL-0001-00

CURSO D'ÁGUA	CÓDIGO	NOME DO PONTO	DESCRIÇÃO DO PONTO DE AMOSTRAGEM	ESTAÇÃO DO IGAM e AGERH COINCIDENTE	COORDENADAS UTM (ZONA 23K) DATUM SIRGAS2000	
					LESTE	NORTE
Rio do Carmo	RCA 06	Carmo 06 – Barra Longa	Rio do Carmo a cerca de 7,5 km da confluência com o rio Piranga	-	711864,15	7757561,79
Rio Doce	RDO 01	Doce 01 – Rio Doce	A montante da UHE Risoleta Neves, na ponte da BR-120 na chegada do município de Santa Cruz do Escalvado	RD072	718263,59	7758814,59
UHE Risoleta Neves até UHE Baguari						
Rio Doce	RDO 03	Doce 03 – São D. Prata	Em areal em Sem Peixe, na BR-262	RD019	735947,96	7785335,22
Rio Doce	RDO 04	Doce 04 – Bom J Galho	Na ponte perdida sobre o rio Doce em área do Parque do IEF	-	760057,88	7835967,3
Rio Doce	RDO 05	Doce 05 – Belo Oriente	No local da travessia da balsa em Cachoeira Escura	RD033	776918,75	7861579,02
Rio Doce	RDO 06	Doce 06 – Periquito	No distrito de Pedra Corrida	RD083	799361,95	7886166,12
UHE Baguari até UHE Aimorés						
Rio Doce	RDO 07	Doce 07 – Periquito	Ponto entre Baguari e Governador Valadares	-	806612,2	7899868,14
Rio Doce	RDO 08	Doce 08 – G. Valadares	Ponte na rodovia Rio-Bahia	RD044	188912,37	7909486,66
Rio Doce	RDO 09	Doce 09 – Tumiritinga	Em Tumiritinga no porto das balsas na margem esquerda do rio	RD053	221845,75	7900244,83
Rio Doce	RDO 10	Doce 10 – Resplendor	Na margem direita do rio em Resplendor	RD059	263318,88	7861251,39
UHE Aimorés até a Foz						
Rio Doce	RDO 11	Doce 11 – Baixo Guandu	Ponte sobre o rio Doce em Baixo Guandu	RDC1C005	288650,08	7841937,06
Rio Doce	RDO 12	Doce 12 - Colatina	No IFES, em Itapina	RDC1E010	315429,22	7842979,94
Rio Doce	RDO 13	Doce 13 - Colatina	Ponte no centro de Colatina	RDC1D020	328395,12	7839121,87
Rio Doce	RDO 14	Doce 14 - Colatina	A jusante de Colatina, ao lado de um areal	-	336836,94	7841931,34
Rio Doce	RDO 15	Doce 15 - Linhares	Ponte sobre o rio Doce na BR-101 em Linhares	RDC1C025	388224,85	7853704,3
Rio Doce	RDO 16	Doce 16 – Linhares	Em Regência, no porto	RDC1E030	413701,23	7827444,4

5.2 - Parâmetros monitorados

O PMQQS conta uma série de parâmetros físicos, químicos e biológicos de avaliação de qualidade de água e sedimentos. Nesta seção são apresentados os parâmetros do PMQQS que foram selecionados para o relatório parcial com seus respectivos métodos e limites de quantificação (LQ). Foram avaliadas 03 (três) variáveis físicas e 12 (doze) químicas na coluna d'água das estações de amostragem **Quadro 5-2**.

Ressalta-se que os LQs de cada parâmetro de qualidade de água avaliados foram sempre iguais ou abaixo dos padrões de qualidade definidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces classe 2 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/2008. Nas campanhas realizadas a partir de dezembro de 2017, houve redução do LQ para os metais em função da recertificação do INMETRO pelo laboratório ALS Corplab / Corplab Serviços Analíticos Ambientais Ltda, contratado para realização das análises. No Quadro 5-2 são apresentados os períodos em que ocorreram as alterações do LQ e métodos de análise.

Quadro 5-2 - Lista de variáveis limnológicas avaliadas, métodos e limites de quantificação.

Parâmetros	Unidade	LQ	Método	Período método
Físicos				
Turbidez	UNT	-	SMEWW 2130 B	Sem alteração
Condutividade elétrica	µS.cm-1	-	SMEWW 2510 B	Sem alteração
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	10 mg.L ⁻¹	SMEWW 2540 D	Sem alteração
Químicos				
Oxigênio dissolvido	mg.L ⁻¹	-	SMEWW 4500-OG	Sem alteração
Arsênio total	mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,0005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Alumínio dissolvido	mg.L ⁻¹	0,05 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,025 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Ferro dissolvido	mg.L ⁻¹	0,10 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,05 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17

Parâmetros	Unidade	LQ	Método	Período método
Manganês total	mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Cobre dissolvido	mg.L ⁻¹	0,005 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,0005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Cromo total	mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Chumbo total	mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Cádmio total	mg.L ⁻¹	0,001 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,0005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Níquel total	mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,0005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Mercúrio total	mg.L ⁻¹	0,0002 mg.L ⁻¹	USEPA 7470A	Até de Nov/17
		0,00005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17
Zinco total	mg.L ⁻¹	0,01 mg.L ⁻¹	USEPA 6010C	Até de Nov/17
		0,0005 mg.L ⁻¹	USEPA 6020A	A partir de Dez/17

5.3 - Amostragem, armazenamento e preservação das amostras

Para a realização das coletas de água superficial, o laboratório contou com pessoal qualificado, além de acreditação nos termos da ABNT NBR-ISO/IEC 17025/2015 junto ao INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Acreditação nº CRL 0222 e CRL 0241). As calibrações dos equipamentos para medição “*in situ*” foram realizadas por empresas que possuem reconhecimento de competência por meio de acreditação ou homologação (Rede Brasileira de Calibração – RBC ou Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio – RBLE), conforme disposto na Deliberação Normativa COPAM nº 167, de 29 de junho de 2011.

Os procedimentos técnicos de amostragem e preservação das amostras de água estão de acordo com as seguintes normas:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR-9898/1987 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores;
- Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidas da Agência Nacional das Águas – ANA e CETESB (2012); e,
- *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, APHA (2012).

As medições de campo foram obtidas nos mesmos pontos de coleta das amostras, a 0,30 m abaixo da superfície da água. Os parâmetros oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez foram obtidos *in situ*, enquanto os outros parâmetros, como sólidos suspensos, metais e metalóide foram coletados e enviados para análise em laboratório. Para os metais dissolvidos, a amostra de água foi filtrada em campo imediatamente após a coleta.

Visando minimizar a possibilidade de contaminação, as garrafas de amostra foram abertas imediatamente antes da coleta e foram tampadas imediatamente após o enchimento. As garrafas foram colocadas em caixas térmicas refrigeradas. Foram respeitados os procedimentos de preservação, e os prazos de validade para todas as amostras coletadas.

5.4 - Tratamento de dados

Os resultados foram apresentados na forma de gráficos de série temporal por ponto e por rio, incluindo os valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ou Resolução COPAM 01/2008 e média ou máxima histórica, sempre que cabível. As médias e máximas históricas foram calculadas para os pontos coincidentes a partir dos valores disponíveis nos bancos de dados do IGAM (pontos localizados em MG) e da AGERH (pontos localizados em ES). O cálculo da média e da máxima histórica foi realizado a partir de médias e máximas anuais, respectivamente, de cada parâmetro encontrado nas respectivas bases de dados antes do

rompimento da barragem (até outubro/2015). Para os dados de metais, quando os resultados das amostras ficaram abaixo dos LQs, foram plotados nos gráficos os valores de LQs dos respectivos métodos, conforme **Quadro 5-2**.

Para avaliar a incidência de chuvas no período de agosto/2017 a janeiro/2018, foram utilizados os dados das Estações Automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para três estações distribuídas em municípios da bacia do rio Doce, sendo elas: Ouro Branco, MG (A513), Governador Valadares, MG (A532) e Linhares, ES (A614). Os dados horários obtidos para estas estações foram acumulados para o mês.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

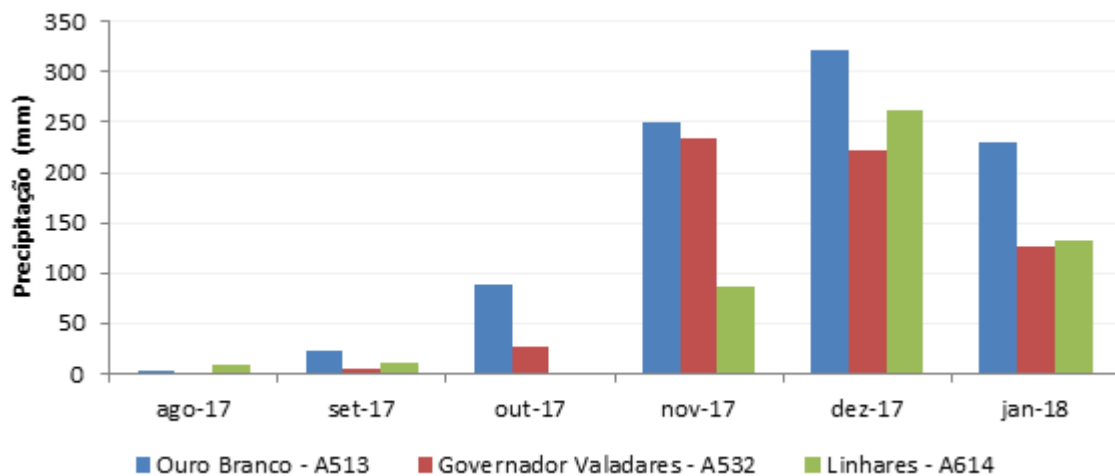
Os resultados consolidados dos parâmetros do PMQQS, do período de agosto/2017 a janeiro/2018, selecionados para este relatório parcial, com seus respectivos valores de referência da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ou Resolução COPAM 01/2008 e médias ou máximas histórica, estão disponíveis em planilha Excel (**Anexo 2**)

6.1 - Precipitação

Na **Figura 6-1** são apresentados os dados de chuva acumulada mensal entre os meses de agosto/2017 e janeiro/2018 nos municípios de Ouro Branco (MG), Governador Valadares (MG) e Linhares (ES), obtidos no site do INMET.

Maiores valores de precipitação foram observados nos meses de novembro e dezembro/2017 e janeiro/2018 e menores valores nos meses de agosto, setembro e outubro/2017, sendo estes períodos representativos das estações chuvosa e seca, respectivamente e, de interesse para este monitoramento. O maior volume acumulado de chuvas para as estações de Ouro Branco (MG) e Linhares (ES) foram observados no mês de dezembro/2017 e, para a estação de Governador Valadares (MG) no mês de novembro/2017.

Figura 6-1 – Chuva acumulada mensal para três estações do INMET localizadas na bacia do rio Doce, de agosto de 2017 a janeiro de 2018.



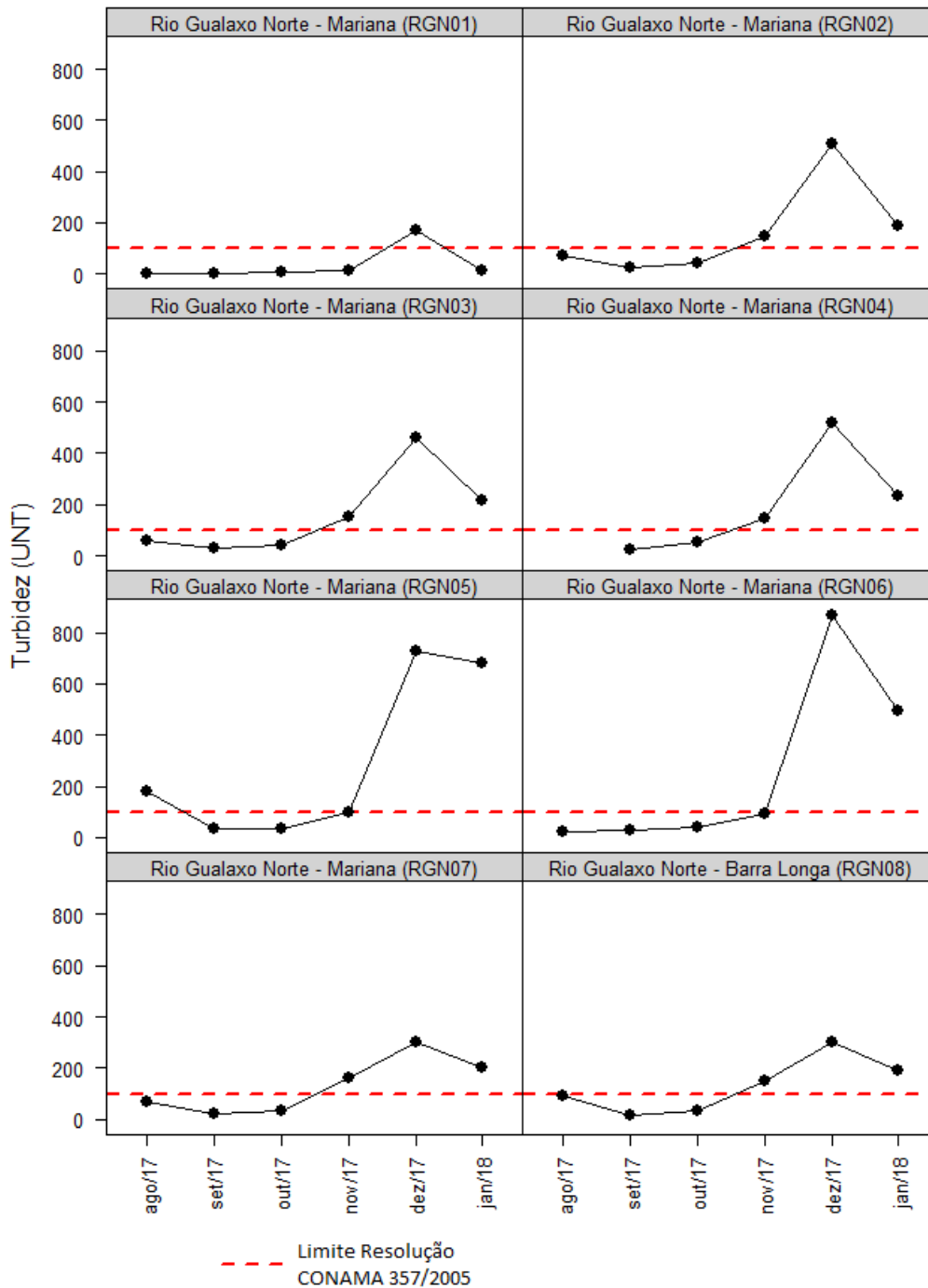
6.2 - Turbidez

A turbidez permite avaliar, de forma indireta, a concentração de material particulado em suspensão na água, que é um parâmetro de interesse associado ao rompimento da barragem de Fundão. Para os rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, em 29 pontos de amostragem, as medidas de turbidez observadas entre agosto/2017 a janeiro/2018 foram inferiores ao nível de alerta (1.050 UNT) definidos no PMQQS (**Figura 6-2, Figura 6-3, Figura 6-4a e Figura 6-4b**). No geral, os 29 pontos apresentaram maiores valores de turbidez durante o período chuvoso (novembro, dezembro e janeiro) do que nos períodos mais secos, superando o limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2 (100 UNT). No período chuvoso, há maior erosão e carreamento de sedimentos do leito, das margens e da bacia do entorno para as águas dos rios. Os pontos que não foram afetados diretamente pelo rompimento da barragem, RGN01 (Gualaxo do Norte - Mariana) e RCA01 (rio do Carmo – Acaiaca) também apresentaram maiores turbidez no período chuvoso, sobretudo em dezembro. Contudo, o aumento de turbidez nestes dois rios foi maior nos pontos que foram afetados diretamente pelos rejeitos da barragem de Fundão.

Rio Gualaxo do Norte

Para os oito pontos de amostragem no rio Gualaxo do Norte, os valores de turbidez variaram de 1,54 a 869 UNT. Com exceção de RGN01 (Mariana, MG) em janeiro/2018, nos meses de dezembro/2017 e janeiro/2018 todos os pontos de amostragem apresentaram valor de turbidez acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (100 UNT) (**Figura 6-2**). Esses resultados estão associados ao período chuvoso quando há um maior carreamento de sólidos do ambiente terrestre para o rio quando comparado ao período seco.

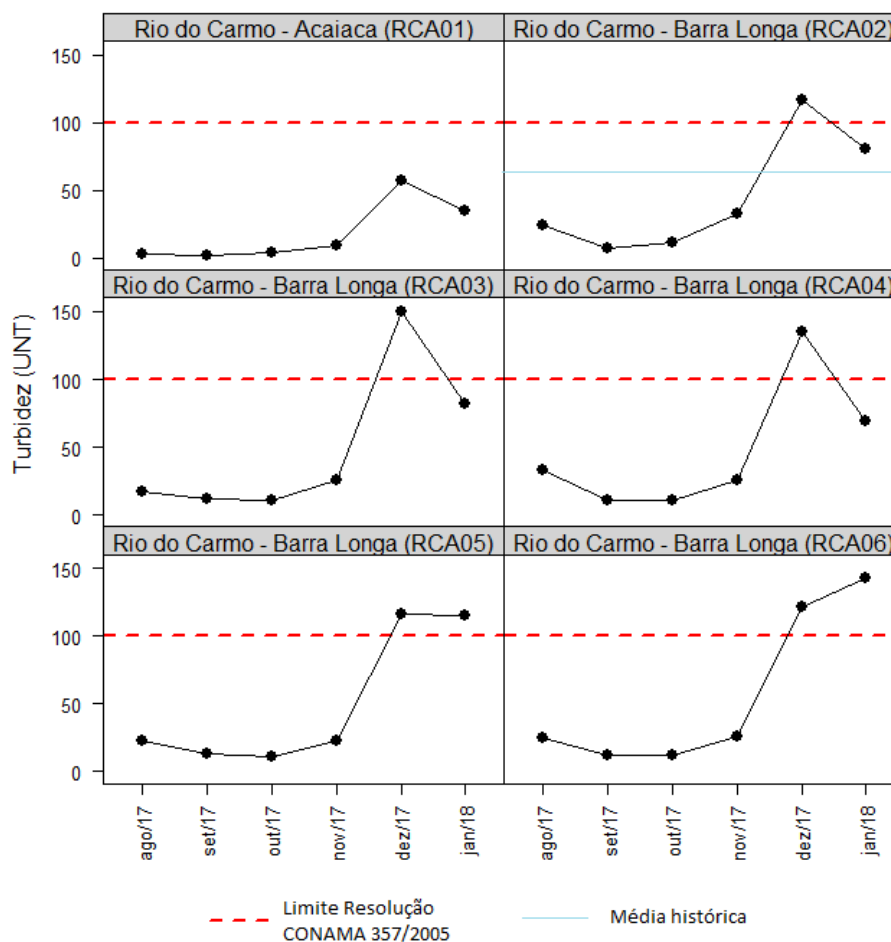
Figura 6-2 – Resultados de turbidez de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Os valores de turbidez para o rio do Carmo variaram de 1,52 a 150 UNT. Com exceção de RCA01 (Acaiaca, MG), a maioria dos pontos apresentaram valores acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (100 UNT) nos meses de dezembro/2017 e janeiro/2018, indicando um maior carreamento de material particulado em suspensão para o rio no período chuvoso. (Figura 6-3).

Figura 6-3 - Resultados de turbidez de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Os valores de turbidez nos quinze pontos de amostragem localizados no rio Doce variaram de 6 a 686 UNT. Com exceção dos pontos RDO04 (Bom J. Galho, MG) e RDO06 (Periquito, MG), todos os demais apresentaram valores de turbidez acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (100 UNT), entre os meses de novembro/2017 a janeiro/2018. Os resultados mostram um aumento da turbidez de novembro para dezembro com redução dos valores no mês de janeiro, sendo um padrão semelhante ao observado para os rios Gualaxo do Norte e do Carmo, o que pode indicar maior erosão das margens, lavagem do solo e carregamento de sedimentos durante o período chuvoso (**Figura 6-4a e Figura 6-4b**).

**Figura 6-4a - Resultados de turbidez de oito pontos
no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.**

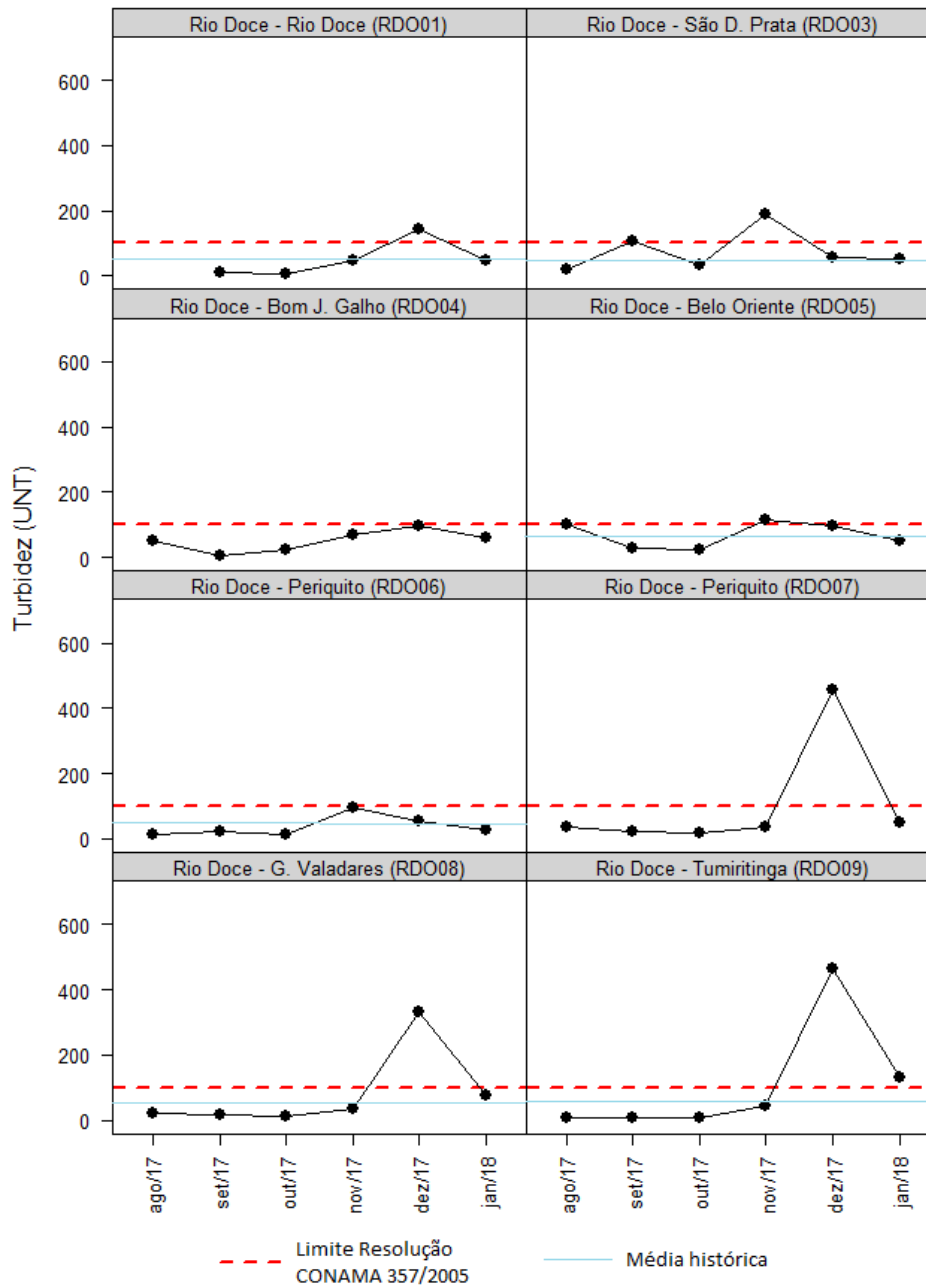
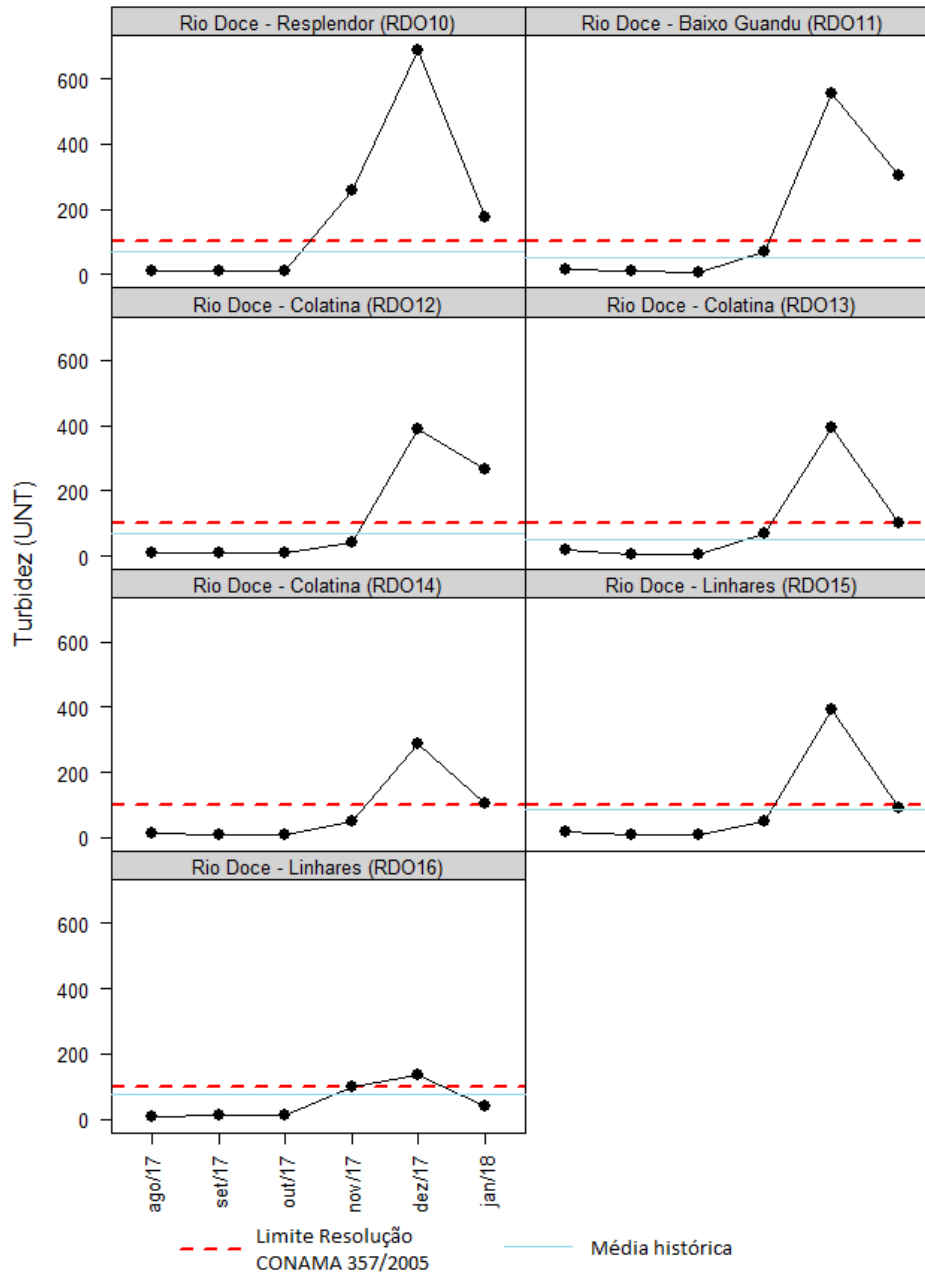


Figura 6-4b - Resultados de turbidez de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.



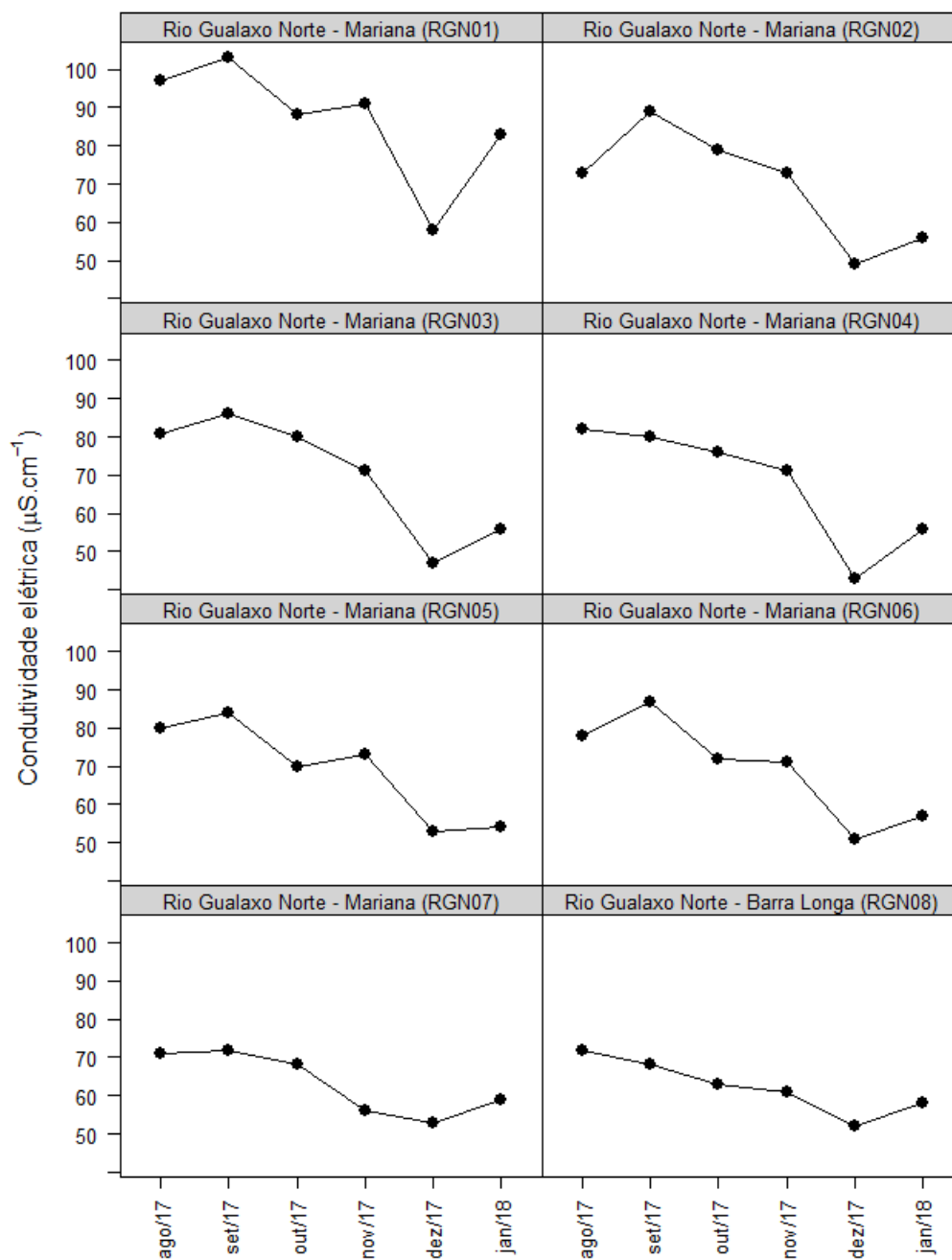
6.3 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica permite avaliar indiretamente a concentração de íons da água. Quanto maior a concentração de íons maior será a condutividade elétrica da água. Nos rios Gualaxo do Norte e Carmo, principalmente, a condutividade elétrica teve uma tendência temporal inversa ao padrão de turbidez e concentração de sólidos suspensos totais. A condutividade pode estar relacionada às concentrações de sólidos totais, devido à adesão de íons à superfície das partículas sólidas, isto é, o processo físico-químico de adsorção. Os pontos que não foram afetados pelo rompimento da barragem em Mariana (RGN01) e em Acaiaca (RCA01) apresentaram amplitude e tendência temporal de condutividade elétrica similar aos dos demais pontos dos seus respectivos rios (**Figura 6-5** e **Figura 6-6**).

Rio Gualaxo do Norte

Para os oito pontos de amostragem no rio Gualaxo do Norte, os valores de condutividade elétrica variaram de 43 a 119 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. De certa forma, a condutividade não indicou variações sazonais marcantes entre o período de amostragem (agosto/2017 a janeiro/2018) e, também não apresentou valores que se aproximassem do valor de alerta ($150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) definido no PMQQS (**Figura 6-5**).

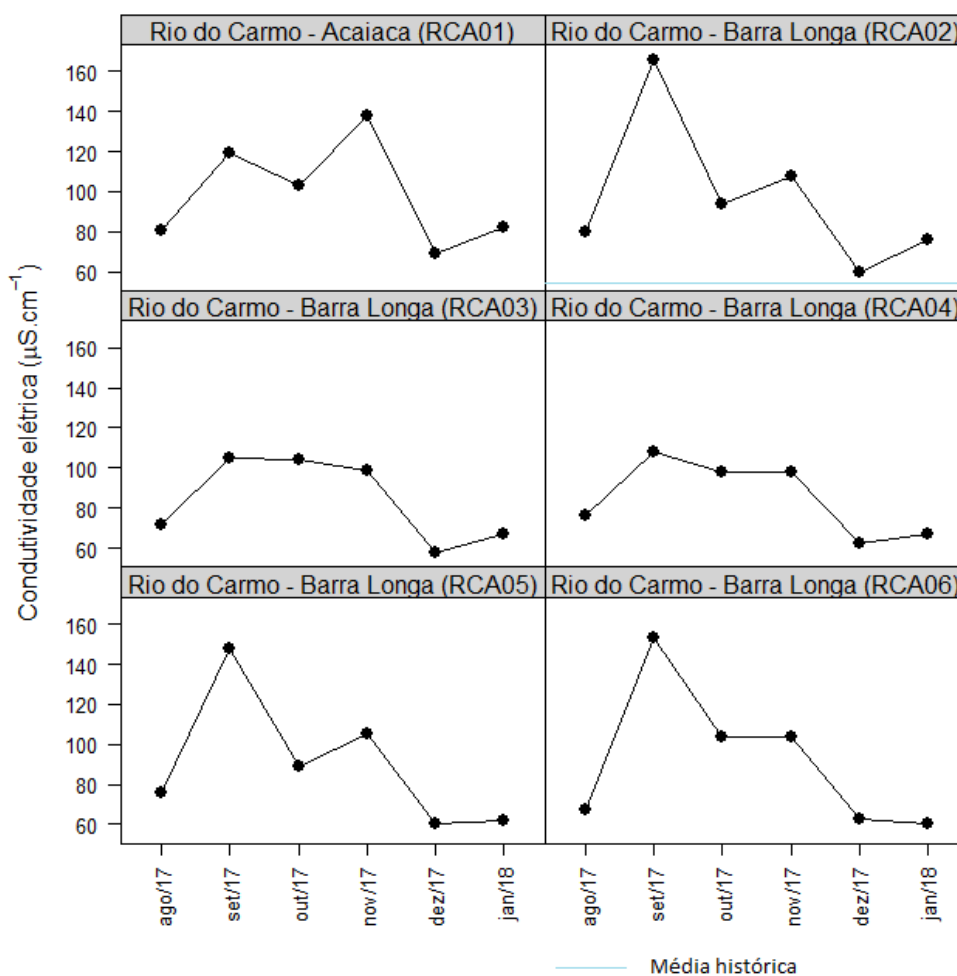
Figura 6-5 – Resultados de condutividade elétrica de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Para os seis pontos de amostragem no rio do Carmo, os valores de condutividade variaram de 58 a 166 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os pontos RCA02, RCA05 e RCA06 localizados no município de Barra Longa, MG apresentaram valores acima do valor de alerta ($150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) nas amostragens de setembro/2017 (Figura 6-6).

Figura 6-6 - Resultados de condutividade elétrica de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

No rio Doce, considerando os pontos RDO01 a RDO16 os valores de condutividade elétrica variaram de 45 a 1800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. No entanto, vale ressaltar que altos valores de condutividade elétrica acima 800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ só foram observados para o ponto RDO16 (Linhares, ES), o que é explicado pelo fato do mesmo está inserido na foz do rio Doce, recebendo influência direta de água salina do oceano Atlântico. Para os pontos RDO05 (Belo Oriente, MG) (agosto, setembro e outubro/2017) e RDO06 (Periquito, MG) (outubro/2017) os valores de condutividade elétrica ficaram acima do valor de alerta (150 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) definido no PMQQS (**Figura 6-7a** e **Figura 6-7b**).

Figura 6-7a - Resultados de condutividade elétrica de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

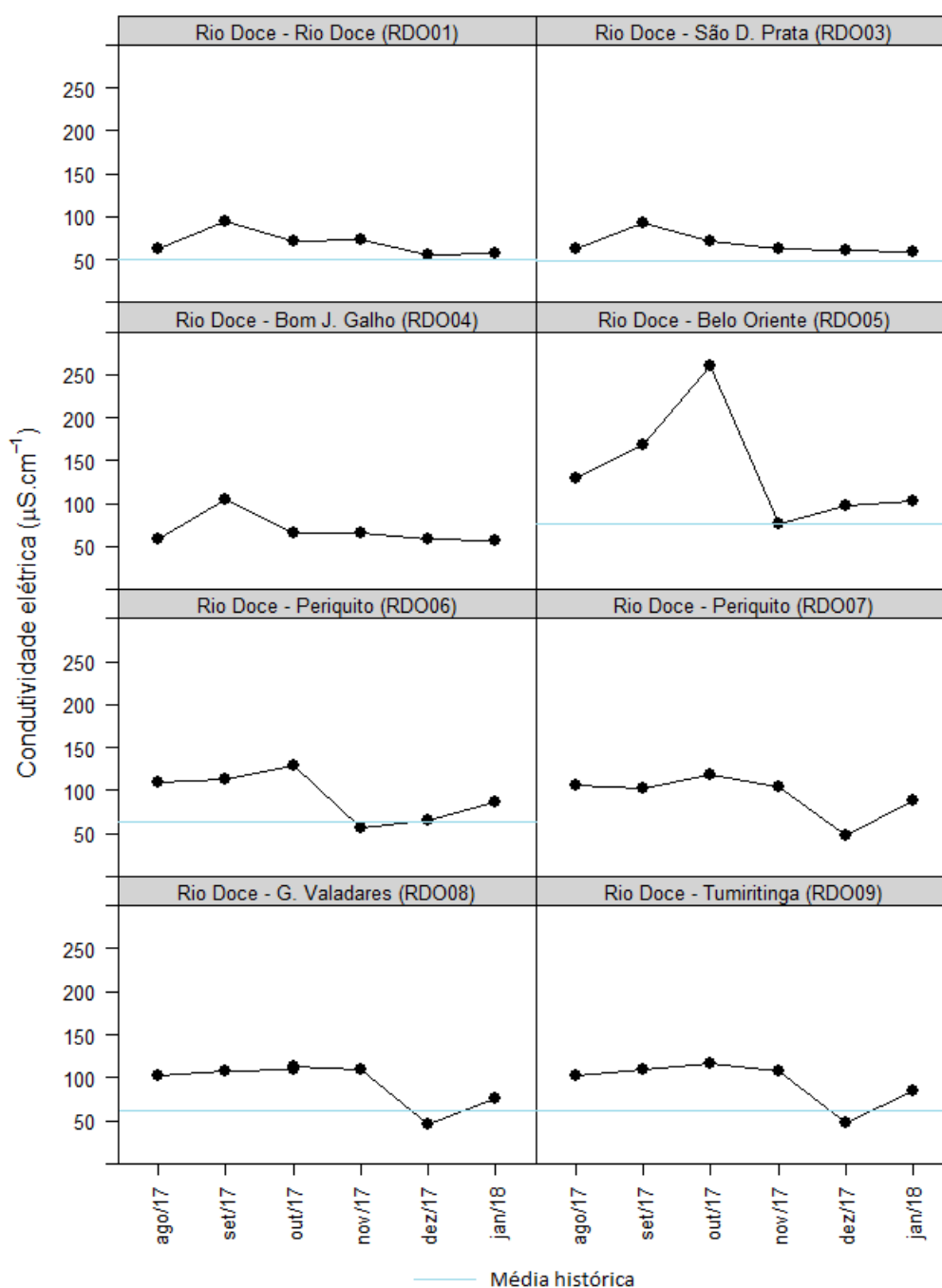
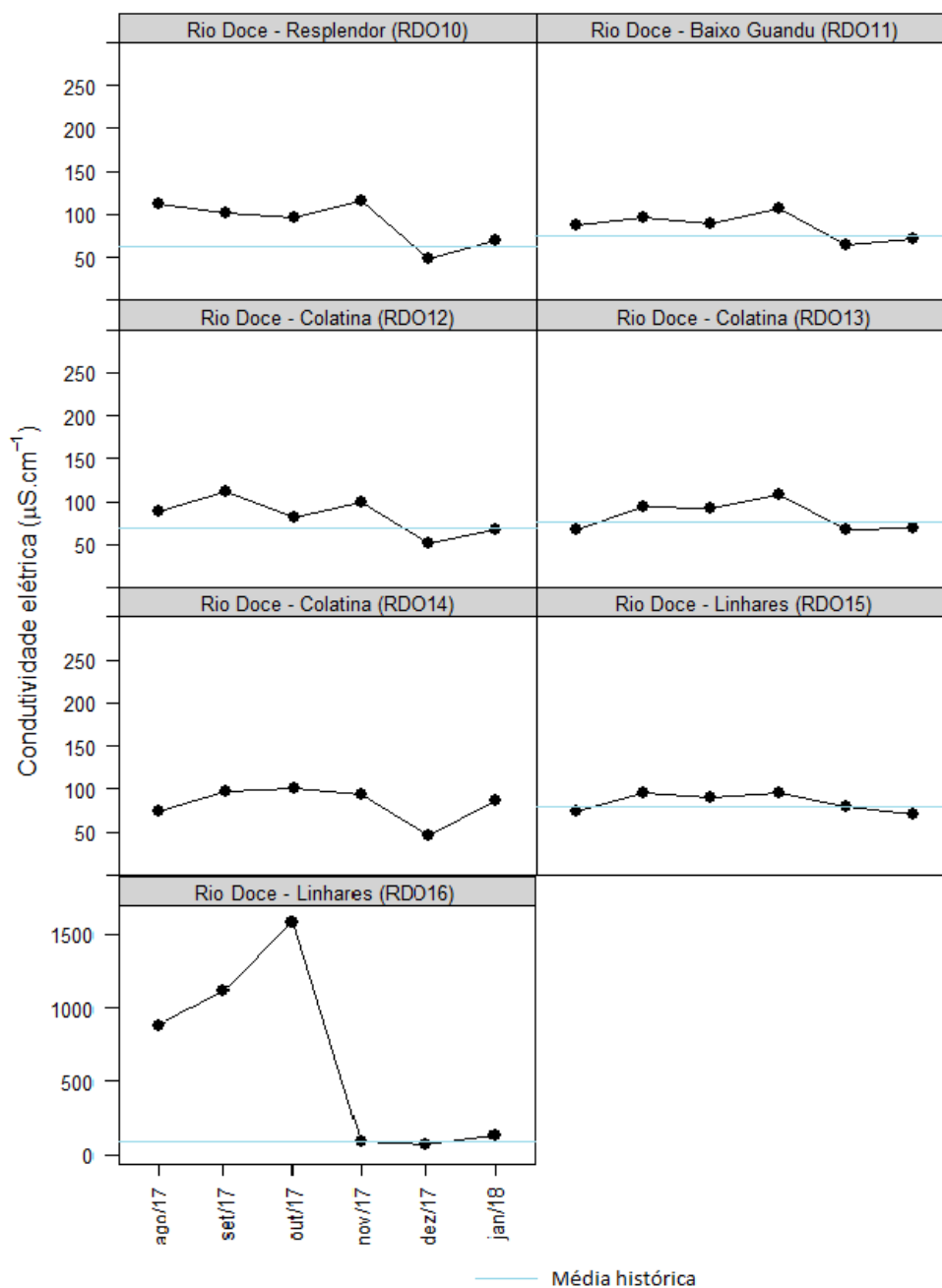


Figura 6-7b - Resultados de condutividade elétrica de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.



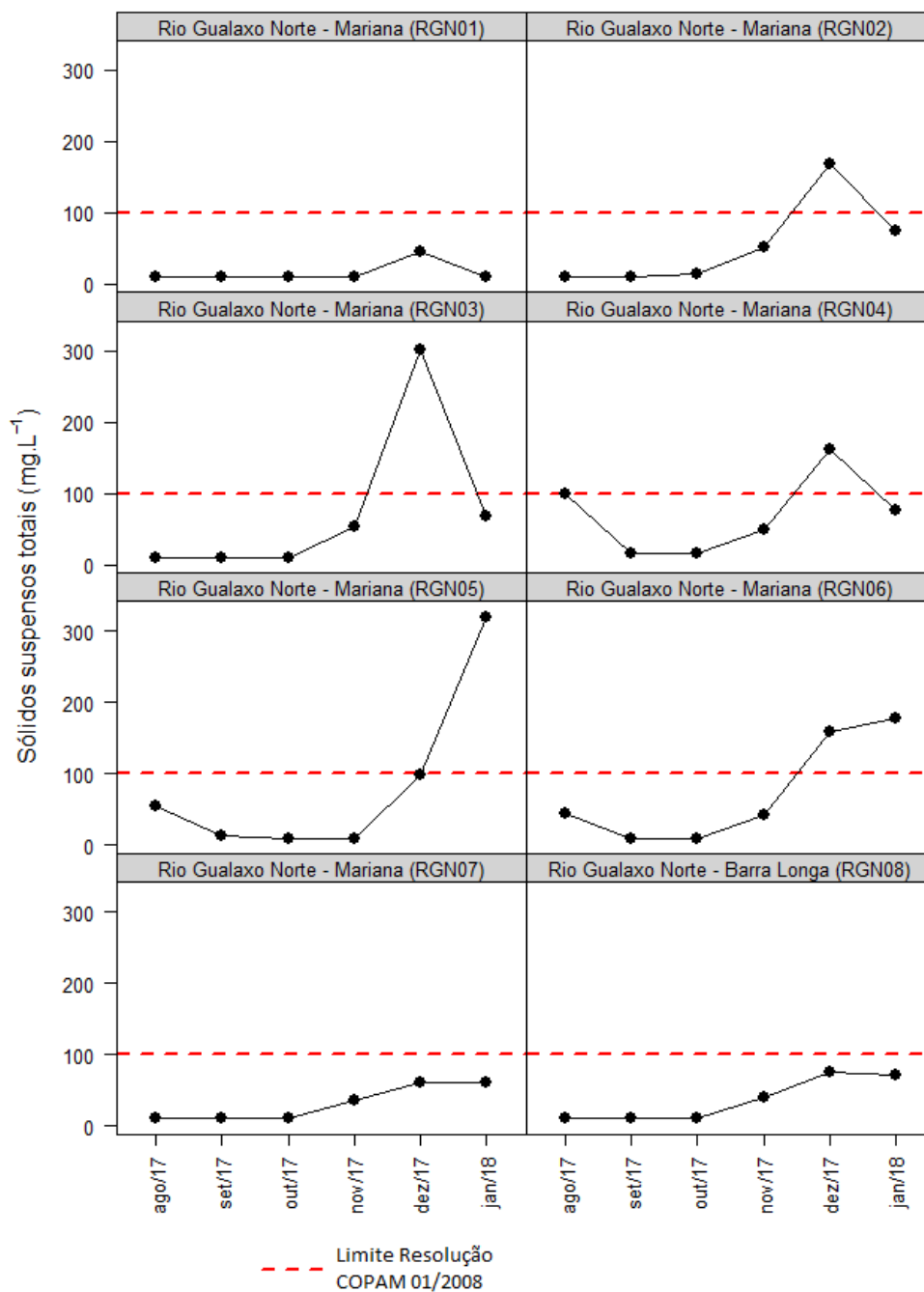
6.4 - Sólidos Suspensos totais

A concentração de sólidos suspensos totais está relacionada a presença de partículas na água. Os sólidos suspensos totais é um parâmetro de interesse do PMQQS por estar associado à avaliação dos efeitos do rompimento da barragem de Fundão, no que diz respeito às características físicas e da biota aquática. Concentrações de sólidos suspensos totais acima dos limites preconizado pela Resolução COPAM 01/2008 (100 mg.L^{-1}) foram encontrados em pontos do rio Gualaxo do Norte e rio Doce, mas não nos pontos do rio do Carmo (**Figura 6-8, Figura 6-9, Figura 6-10a e Figura 6-10b**). No entanto, foi observada tendência semelhante aos rios Doce e Gualaxo do Norte, onde maiores concentrações de sólidos suspensos totais foram registradas entre novembro/2017 a janeiro/2018, o que também corrobora os resultados de turbidez encontrados nos três rios. A confluência com o rio do Carmo, por ser de maior porte, pode ter proporcionado um efeito diluidor da concentração de sólidos suspensos totais transportados pelo rio Gualaxo do Norte. Isso enfatiza a importância dos rios tributários para a depuração de contaminantes e restauração da bacia do rio Doce.

Rio Gualaxo do Norte

Para os oito pontos de amostragem no rio Gualaxo do Norte, os valores de sólidos suspensos totais variaram de <10 a 320 mg.L^{-1} . Para as amostragens realizadas nos meses de dezembro/2017 e janeiro/2018, os pontos RGN02, RGN03, RGN04, RGN05 e RGN06 (localizados em Mariana, MG) apresentaram valores de sólidos suspensos totais acima do limite preconizado pela Resolução COPAM 01/2008 (100 mg.L^{-1}). Esses resultados observados para os meses de dezembro e janeiro podem ser explicados pela maior precipitação que geralmente ocorre nesse período do ano e contribui para um maior carreamento de sólidos do ambiente terrestre para dentro do rio (**Figura 6-8**).

Figura 6-8 – Resultados de sólidos suspensos totais de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.

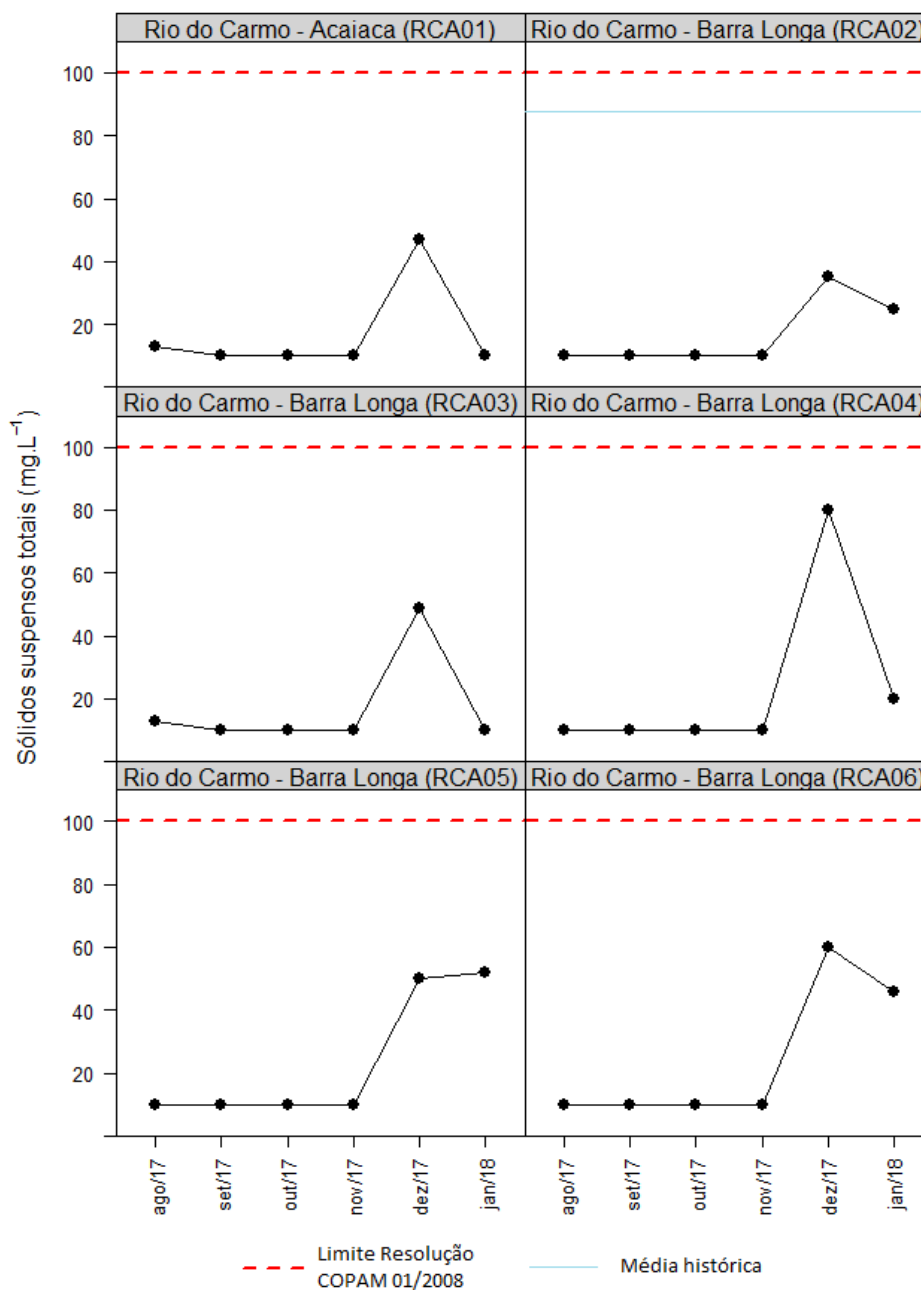


Rio do Carmo

Para os seis pontos de amostragem no rio do Carmo, os valores de sólidos suspensos totais variaram de <math><10</math> a

(Figura 6-9)

Figura 6-9 – Resultados de sólidos suspensos totais de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As concentrações de sólidos suspensos totais nos pontos localizados no rio Doce variaram de <math><10</math> a 334 mg.L^{-1}. Concentrações acima do limite preconizado pela Resolução COPAM 01/2008 (100 mg.L^{-1}) foram mais observadas em dezembro/2017 nos pontos RDO07 (Periquito, MG), RDO08 (Governador Valadares, MG), RDO09 (Tumiritinga, MG), RDO10 (Resplendor, MG). Nos pontos RDO11 (Baixo Guandu, ES), RDO12 (Colatina, ES) e RDO15 (Linhares, ES), também foram registrados valores acima de 100 mg.L^{-1}, contudo não há definição de limite legal para este parâmetro no estado do Espírito Santo. Outros pontos também apresentaram concentração acima do preconizado pela referida resolução em novembro/2017 e janeiro/2018, sendo RDO03 (São D. Prata, MG) e RDO10 em novembro/2017 e RDO09 em janeiro/2018 (**Figura 6-10a** e **Figura 6-10b**). Os resultados de sólidos suspensos corroboram aos maiores valores de turbidez observados para os meses de novembro, dezembro e janeiro, quando geralmente ocorre uma maior precipitação e contribui para um maior carreamento de sólidos do ambiente terrestre para dentro do rio.

Figura 6-10a - Resultados de sólidos suspensos totais de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

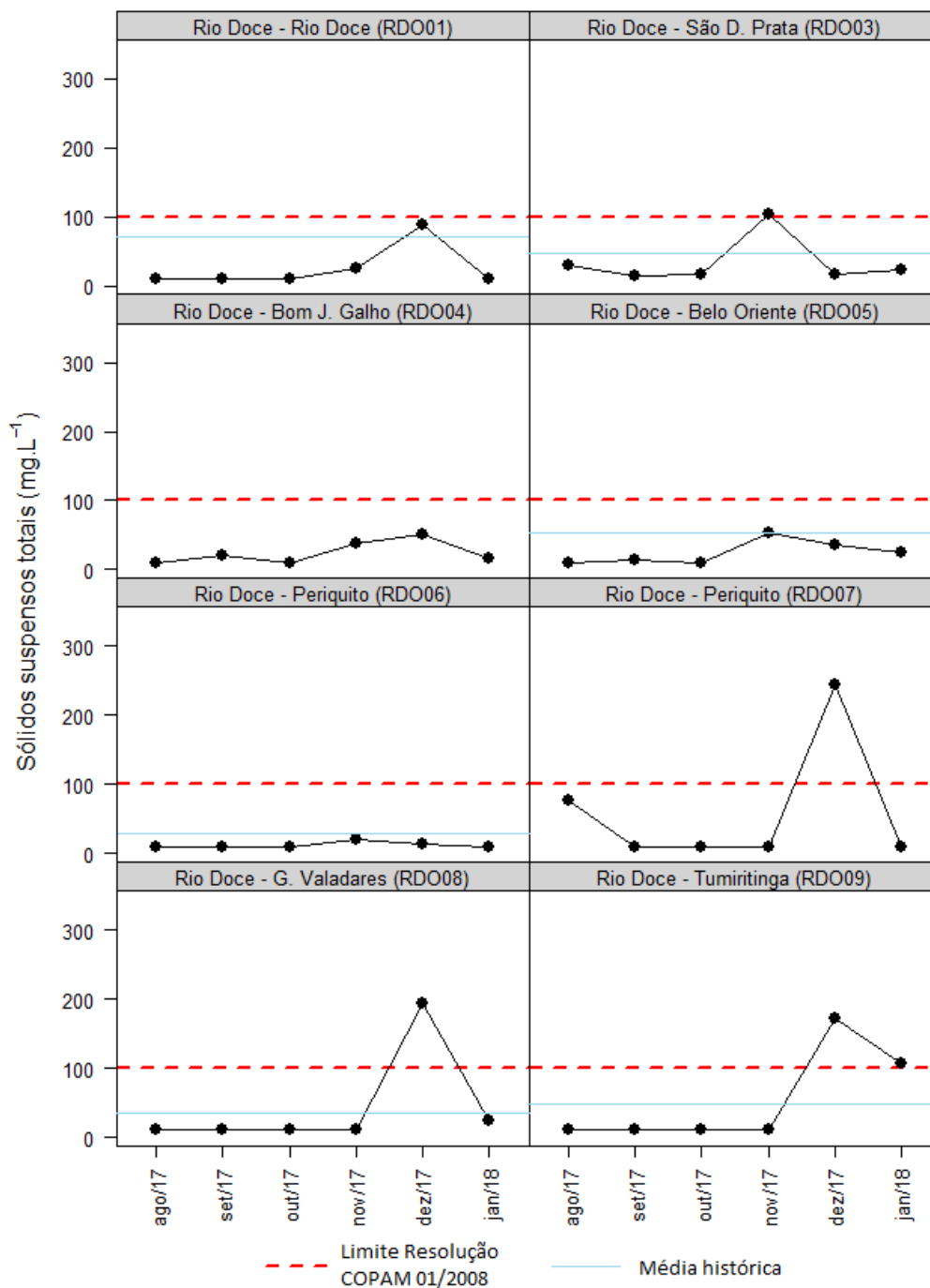
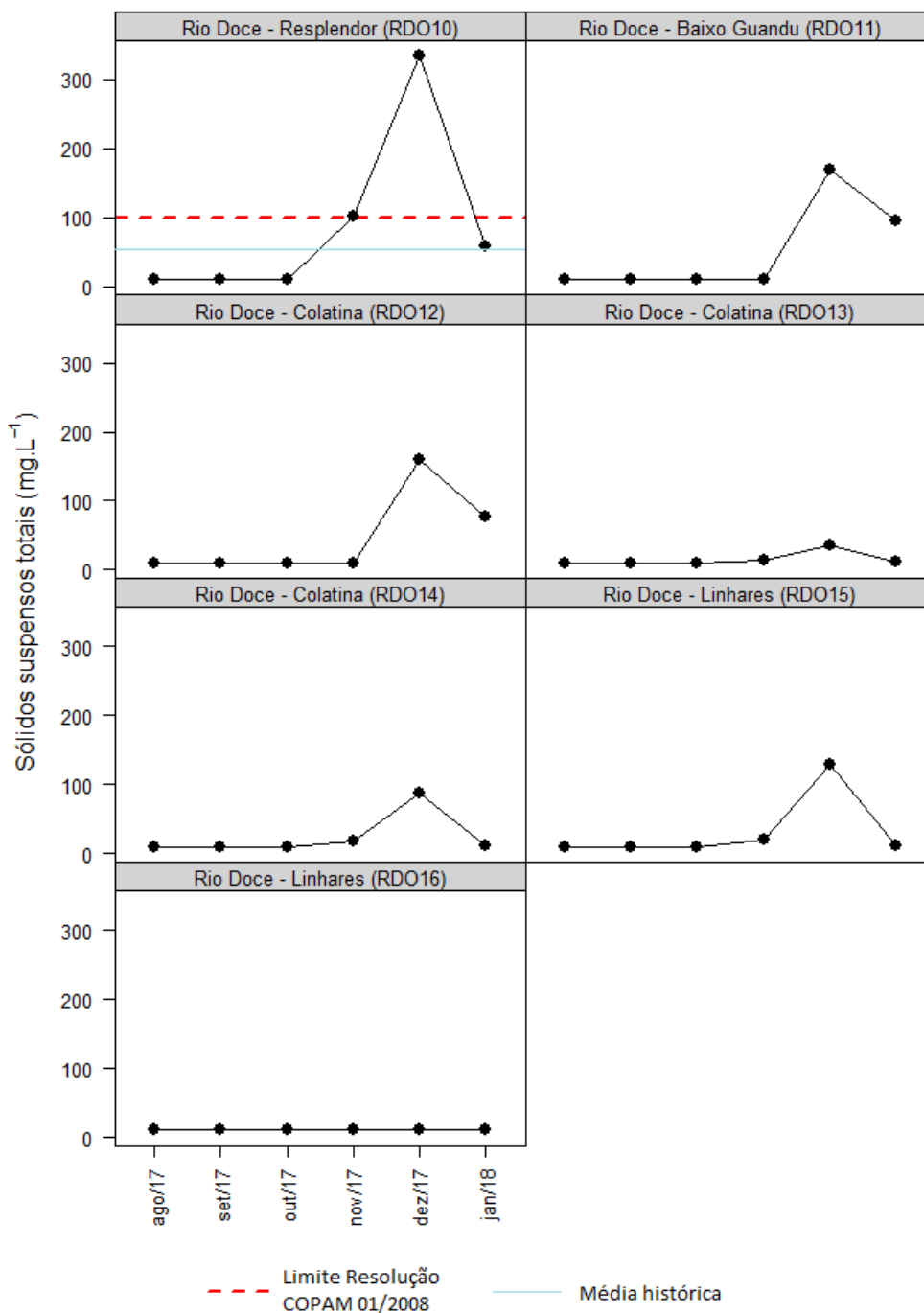


Figura 6-10b - Resultados de sólidos suspensos totais de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.



6.5 - Oxigênio dissolvido

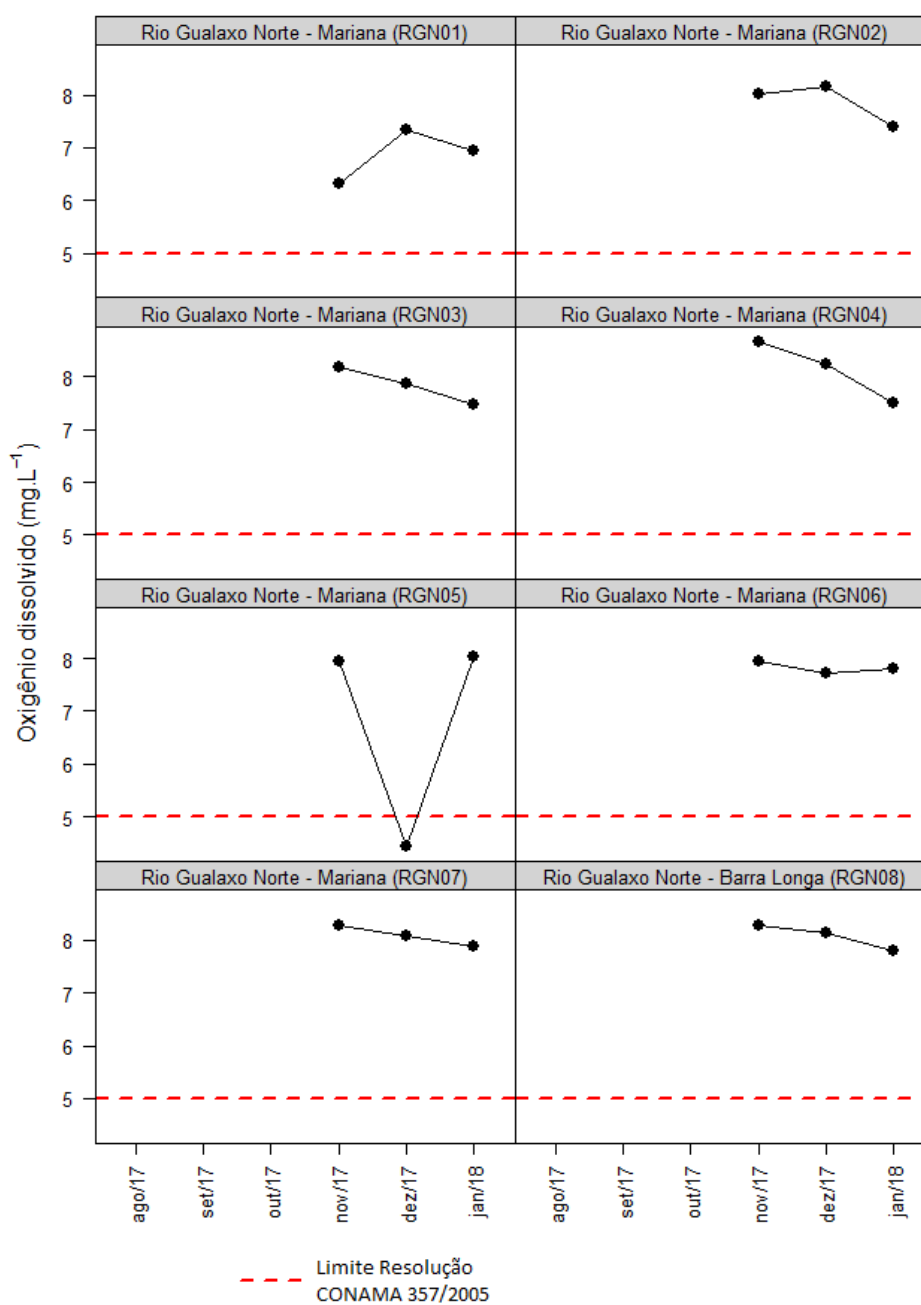
O oxigênio dissolvido permite avaliar indiretamente a contaminação por substâncias biologicamente oxidáveis na água. Baixas concentrações de oxigênio dissolvido são encontradas em rios que recebem grandes cargas de matéria orgânica, por exemplo, esgoto doméstico e certos resíduos industriais como o vinhoto. Nos três rios, Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, as concentrações de oxigênio dissolvido encontradas durante o período de monitoramento estiveram acima do nível de alerta ($3,5 \text{ mg.L}^{-1}$) estipulado no PMQQS. Contudo, esses três rios, em pelo menos uma amostragem, apresentaram valores abaixo do limite mínimo da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (5 mg.L^{-1}) em pelo menos um ponto.

Cabe ressaltar que durante as campanhas realizadas em agosto, setembro e outubro de 2017, nos pontos entre Mariana (RGN01) a Governador Valadares (RDO06), foram constatadas inconsistências analíticas dos resultados de oxigênio dissolvido mensurados por uma das equipes do laboratório contratado (ALS Corplab). Com isso, estes resultados foram desconsiderados na avaliação dos resultados do PMQQS. Estes pontos foram no rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce até a localidade da UHE Baguari.

Rio Gualaxo do Norte

Os valores de oxigênio dissolvido para os pontos de amostragem no rio Gualaxo do Norte, variaram de $4,45$ a $8,66 \text{ mg.L}^{-1}$. Para a maioria dos pontos de amostragem, o oxigênio dissolvido foi observado acima do limite mínimo da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (5 mg.L^{-1}). Somente para RGN05 (Mariana, MG) em dezembro/2017 os valores de oxigênio dissolvido estiveram abaixo ($4,45 \text{ mg.L}^{-1}$) do limite preconizado pela referida resolução. Porém acima do nível de alerta ($3,5 \text{ mg.L}^{-1}$) estipulado no PMQQS. (**Figura 6-11**).

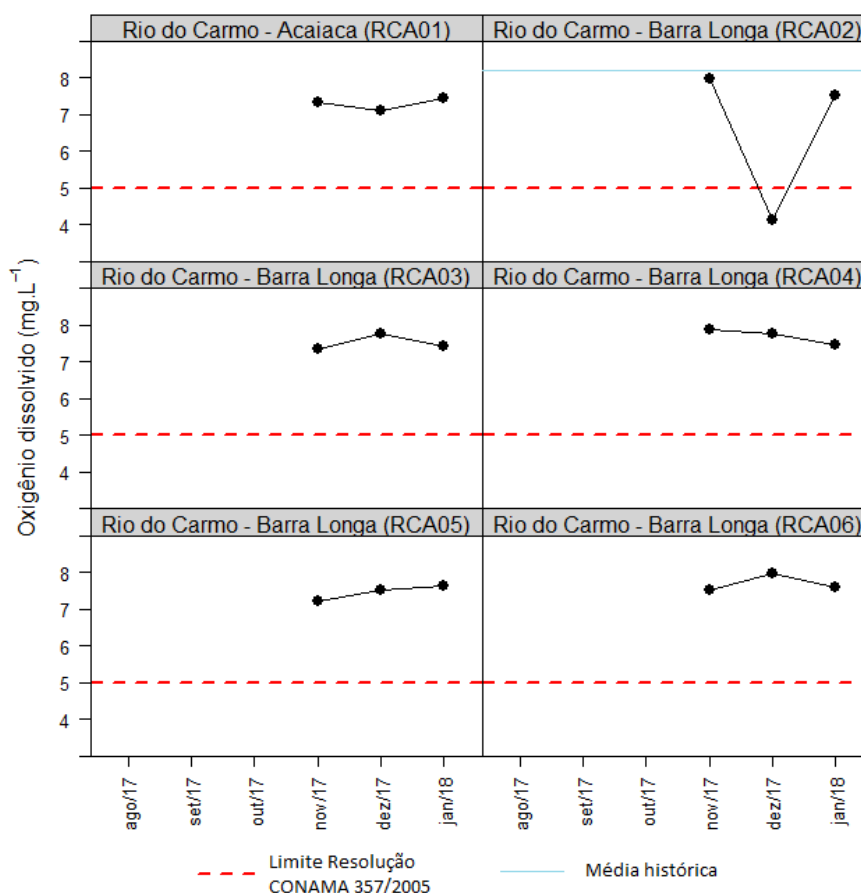
Figura 6-11 – Resultados de oxigênio dissolvido de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Os valores de oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem do rio do Carmo variaram de 4,12 a 7,99 mg.L⁻¹. Para maioria dos pontos de amostragem, o oxigênio dissolvido foi observado acima do limite mínimo da Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (5 mg.L⁻¹), exceção para RCA02 (Barra Longa, MG) que em dezembro/2017 teve resultado de 4,12 mg.L⁻¹. Vale ressaltar que esse valor está acima do nível de alerta (3,5 mg.L⁻¹) estipulado no PMQQS (**Figura 6-12**).

Figura 6-12 - Resultados de oxigênio dissolvido de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Os valores de oxigênio dissolvido nos pontos localizados no rio Doce variaram de 4,45 a 8,56 mg.L⁻¹. Considerando todas as campanhas, a maioria dos pontos de amostragem apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido acima limite mínimo preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (5 mg.L⁻¹), com exceção dos pontos RDO04 (Bom J. Galho, MG), RDO07 (Periquito, MG), RDO08 (Governador Valadares, MG), RDO10 (Resplendor, MG), RDO11 (Baixo Guandu, ES) que, principalmente, em outubro/2017 apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido abaixo limite mínimo preconizado pela referida resolução (**Figura 6-13a e Figura 6-13b**).

Figura 6-13a- Resultados de oxigênio dissolvido de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

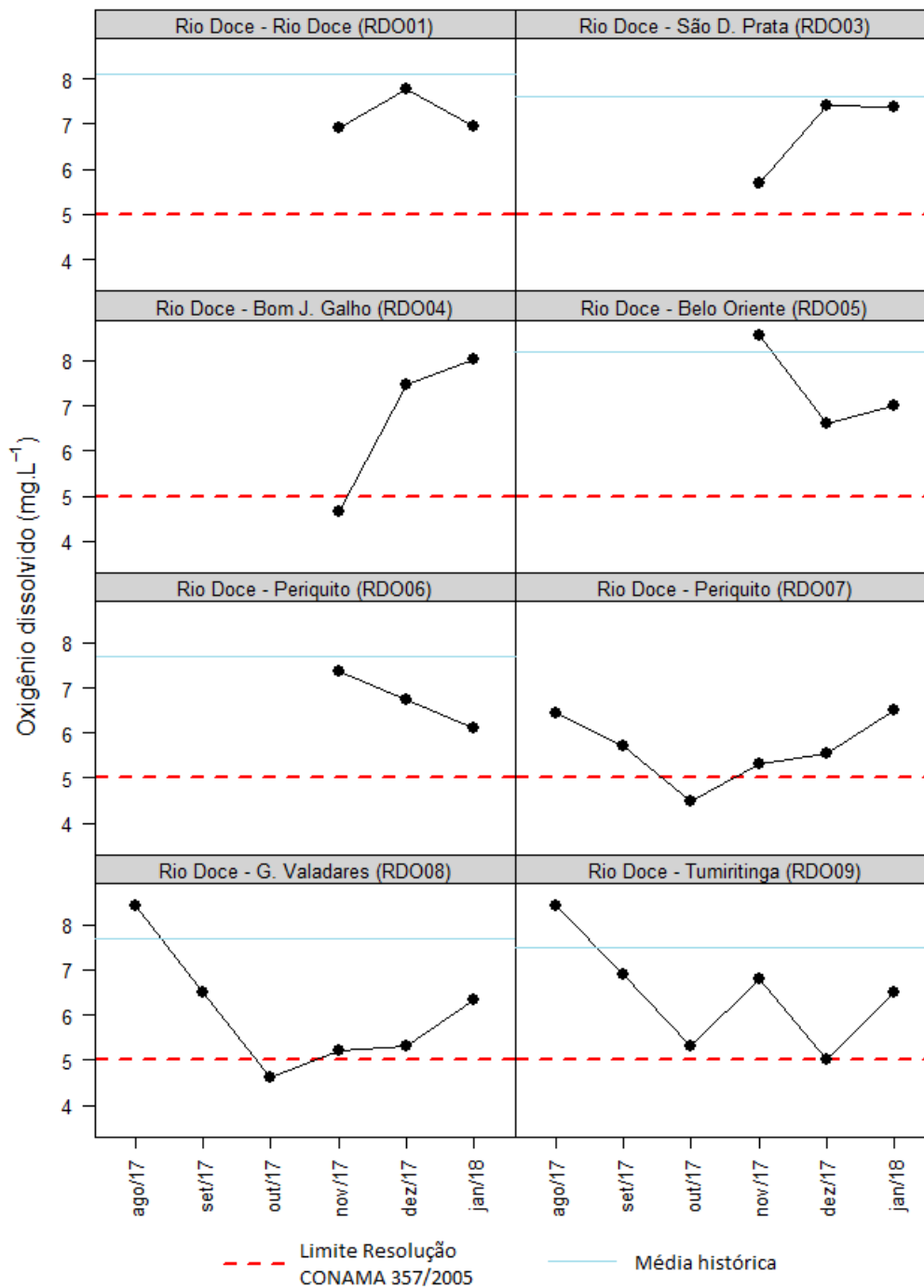
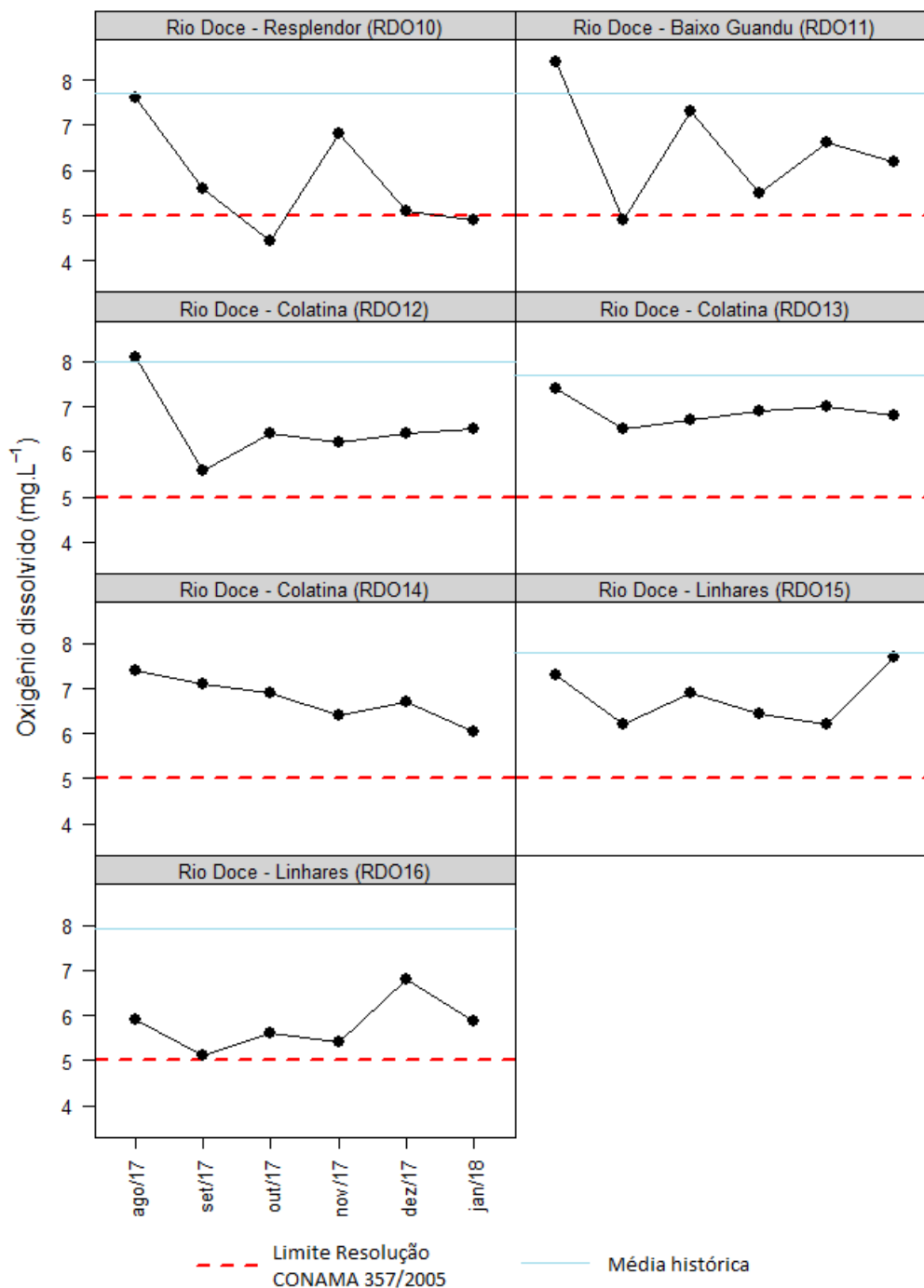


Figura 6-13b - Resultados de oxigênio dissolvido de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.



6.6 - Metais e Metalóide

Os metais são constituintes da matriz cristalina dos sedimentos. Como os sedimentos são derivados da ação do intemperismo sobre as rochas, e estas variam em origem e minérios formadores, os sedimentos apresentam composição metálica diferenciada, conforme sua origem (Lenz & Amaral, 1980). Porém, a atividade humana pode interferir no ciclo biogeoquímico dos metais. Geralmente, as atividades industriais promovem uma maior mobilização destes elementos, movendo-os de compartimentos mais estáveis (como as matrizes cristalinas dos sedimentos), para outros com maior mobilidade (fração solúvel nos corpos d'água) nos ecossistemas.

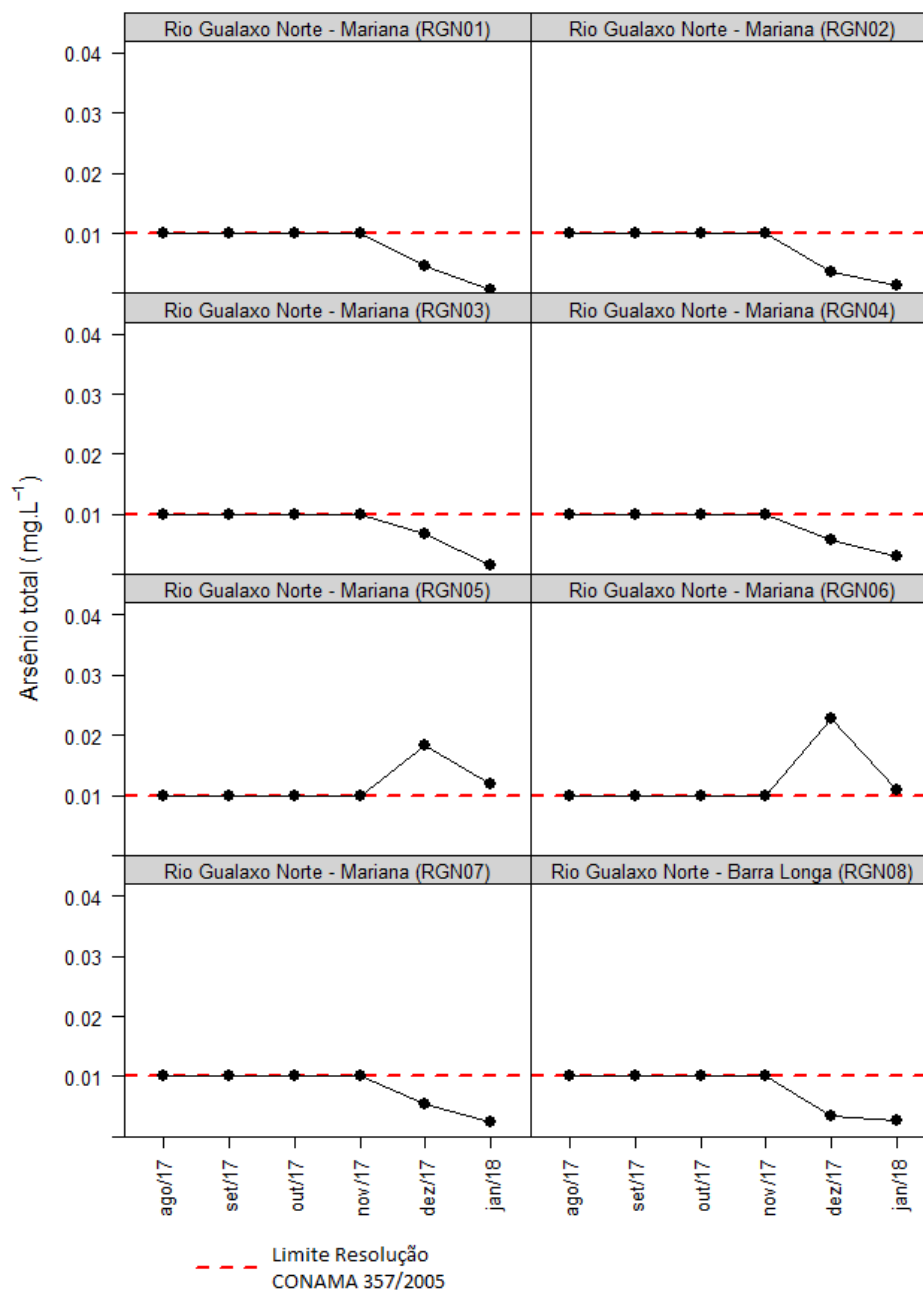
O incremento das concentrações de metais (dissolvido e total) nas amostras referentes às campanhas de dezembro/2017 e janeiro/2018, pode estar relacionado com a maior pluviosidade observada na bacia do rio Doce. O fenômeno conhecido como lixiviação, que se caracteriza pelo transporte de metais antes adsorvidos ao solo de áreas marginais, para dentro das calhas dos rios, pode explicar esse aumento das concentrações de metais nas águas da bacia do rio Doce. Este modelo de transferência de contaminantes do ambiente terrestre para o aquático, pela ação das águas da chuva está bem caracterizado na literatura (Salomons & Forstner, 1984; Dijkstra *et al.*, 2004). Especificamente na região de estudo, a lixiviação pode ter atuado de forma ainda mais intensa, uma vez que as regiões marginais ainda não tiveram suas coberturas vegetais totalmente recompostas. O aumento concomitante dos dados de turbidez e sólidos suspensos totais para os meses de dezembro/2017 e janeiro/2018, também suportam esta hipótese, uma vez que refletem um maior aporte de material terrestre para dentro das calhas do rio.

6.6.1 - Arsênio total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de arsênio total nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte variaram de $<0,0005$ a $0,0228 \text{ mg.L}^{-1}$. Valores de arsênio total acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) foram registrados somente nos pontos RGN05 (Mariana, MG) em dezembro/2017 e janeiro/2018 ($0,0184$ e $0,0119 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente) e RGN06 (Mariana, MG) também em dezembro/2017 e janeiro/2018 ($0,0228$ e $0,0110 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente), o que corresponde ao período chuvoso (**Figura 6-14**).

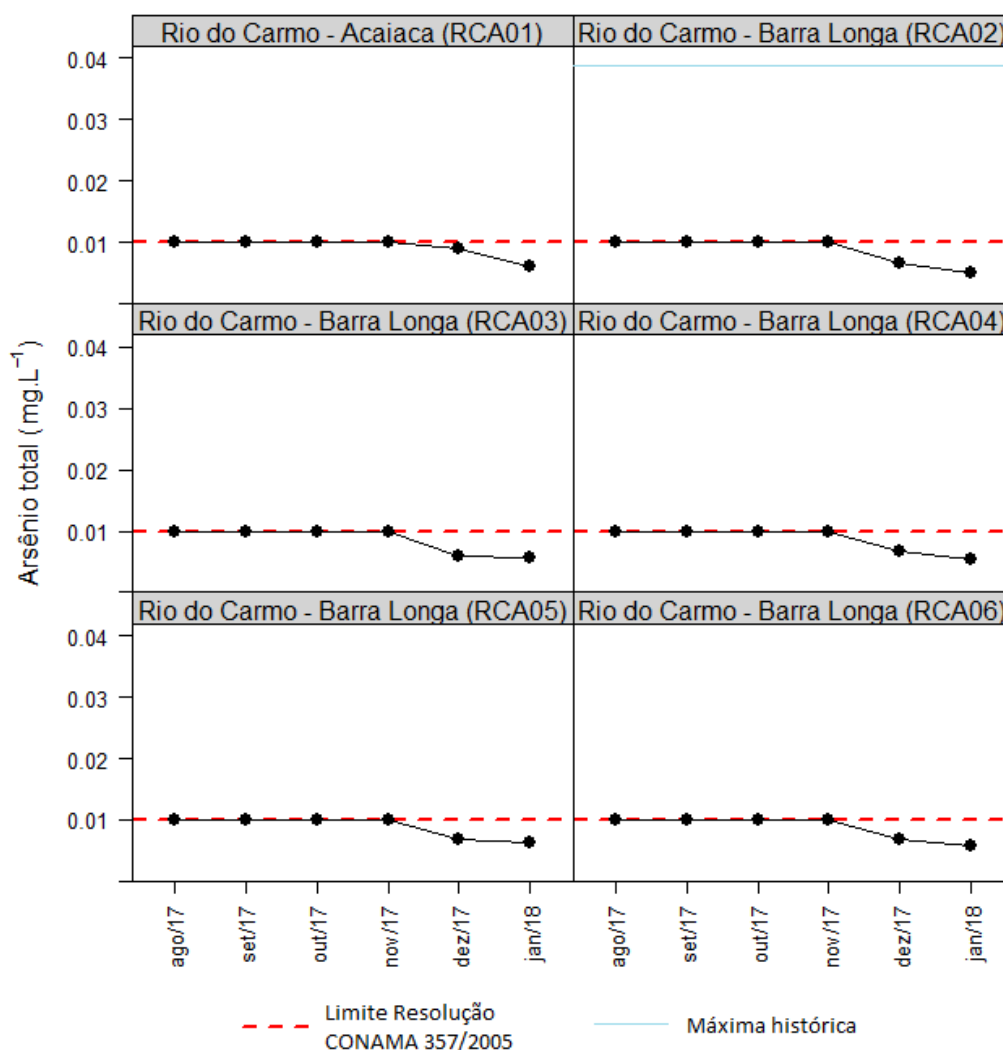
Figura 6-14 - Resultados de arsênio total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

As concentrações de arsênio total para o período de amostragem (agosto/2017 a janeiro/2018) variaram de <math><0,10</math> a $0,009$ mg.L⁻¹. Nos seis pontos as concentrações de arsênio total ficaram abaixo do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (0,01 mg.L⁻¹) (Figura 6-15).

Figura 6-15 - Resultados de arsênio total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As concentrações de arsênio total nos pontos do rio Doce variaram de $<0,0005$ a $0,0047 \text{ mg.L}^{-1}$. Todos os pontos apresentaram concentrações de arsênio total abaixo do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-16a e Figura 6-16b**).

Figura 6-16a - Resultados de arsênio total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

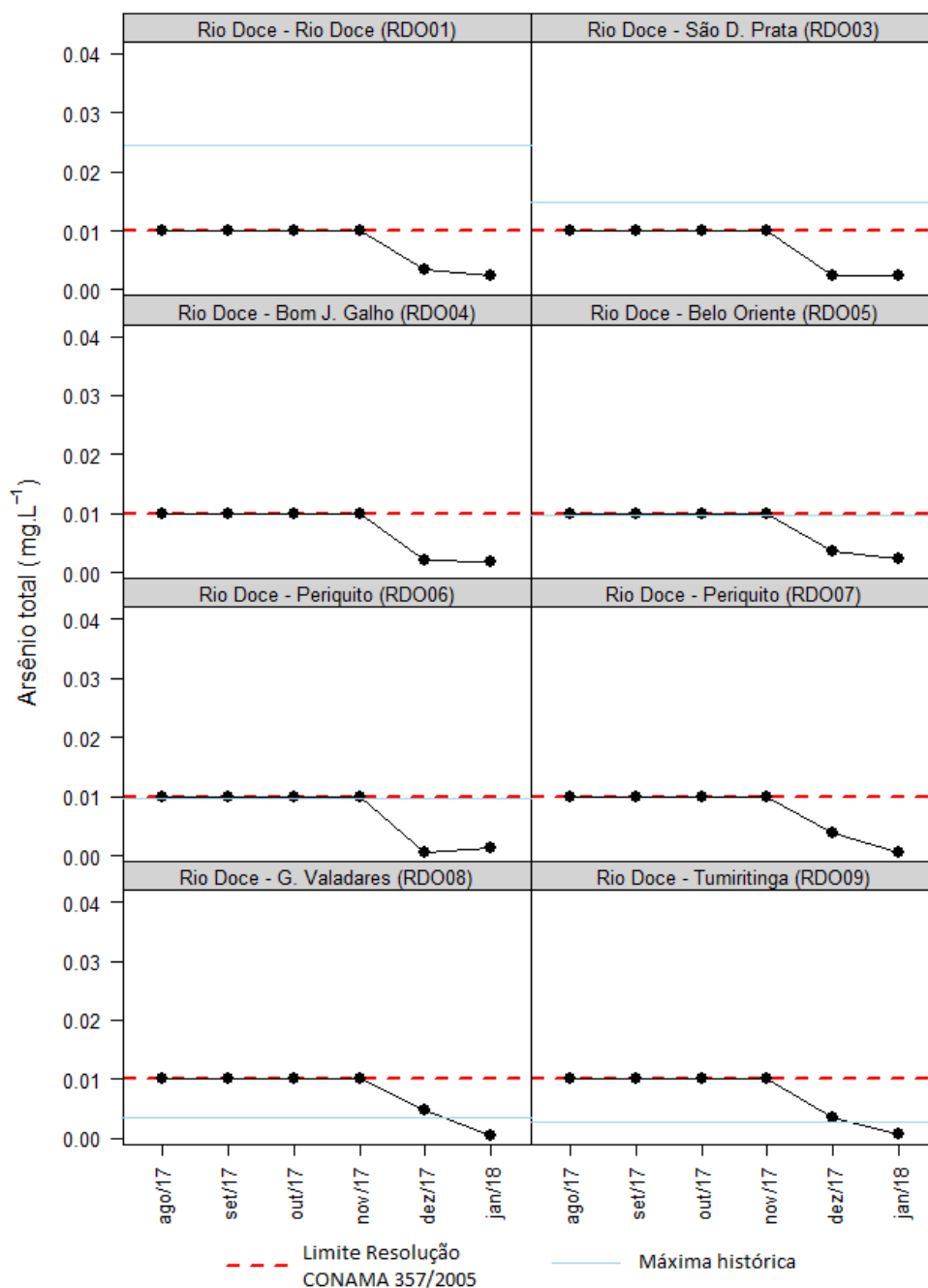
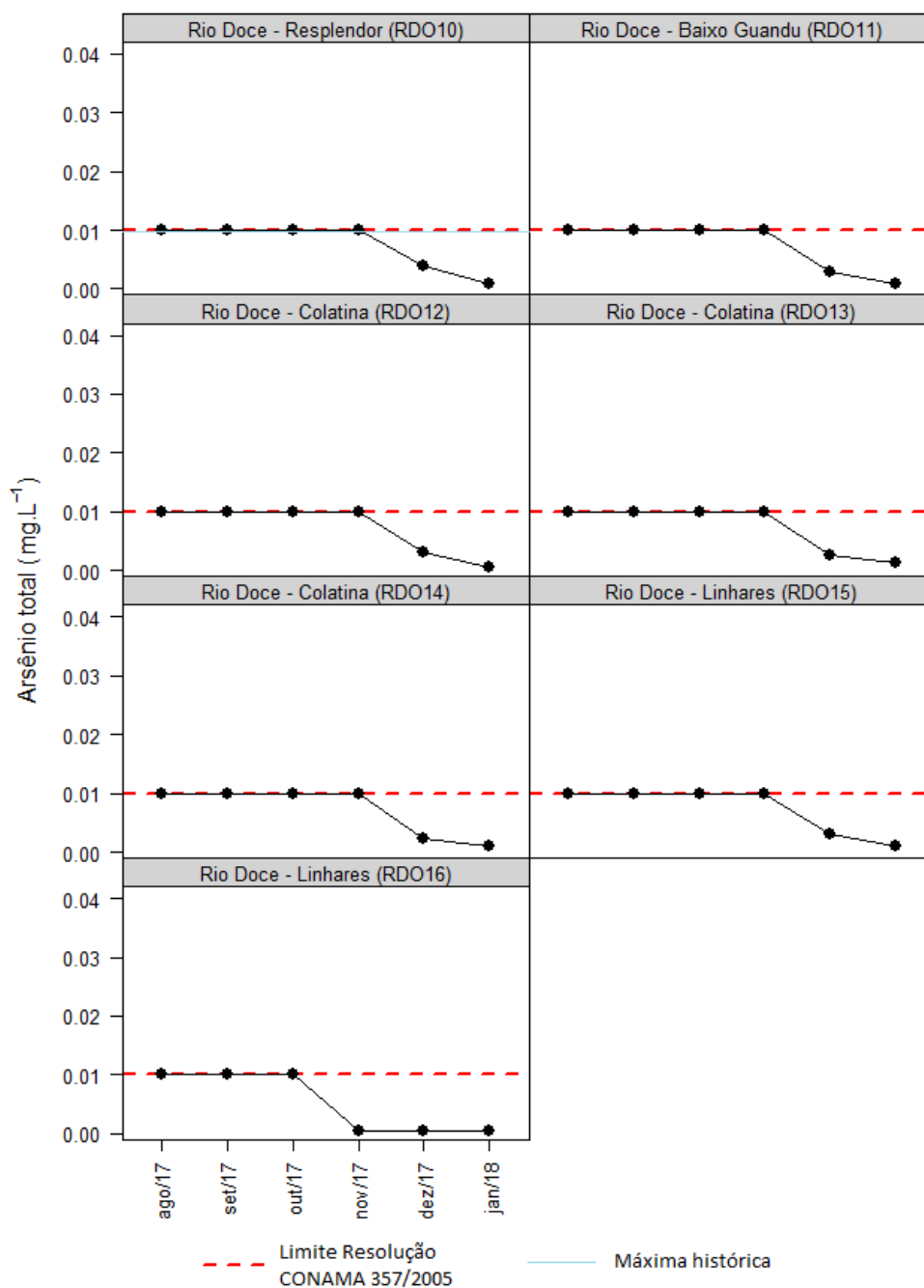


Figura 6-16b - Resultados de arsênio total de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

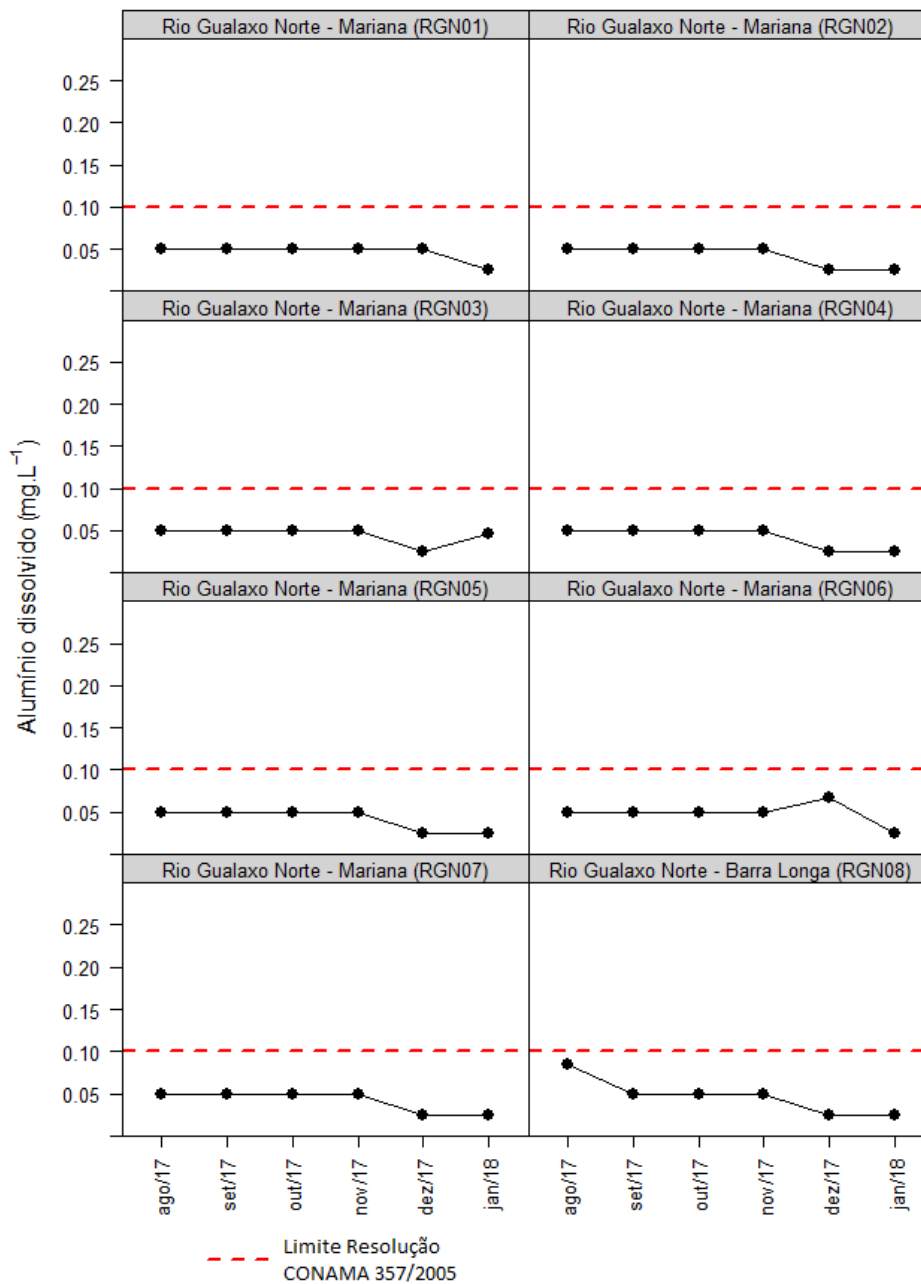


6.6.2 - Alumínio dissolvido

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de alumínio dissolvido nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte variaram entre $<0,025$ a $0,084 \text{ mg.L}^{-1}$ nas seis campanhas de agosto/2017 a janeiro/2018. Não foram observados valores de alumínio dissolvido acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-17**).

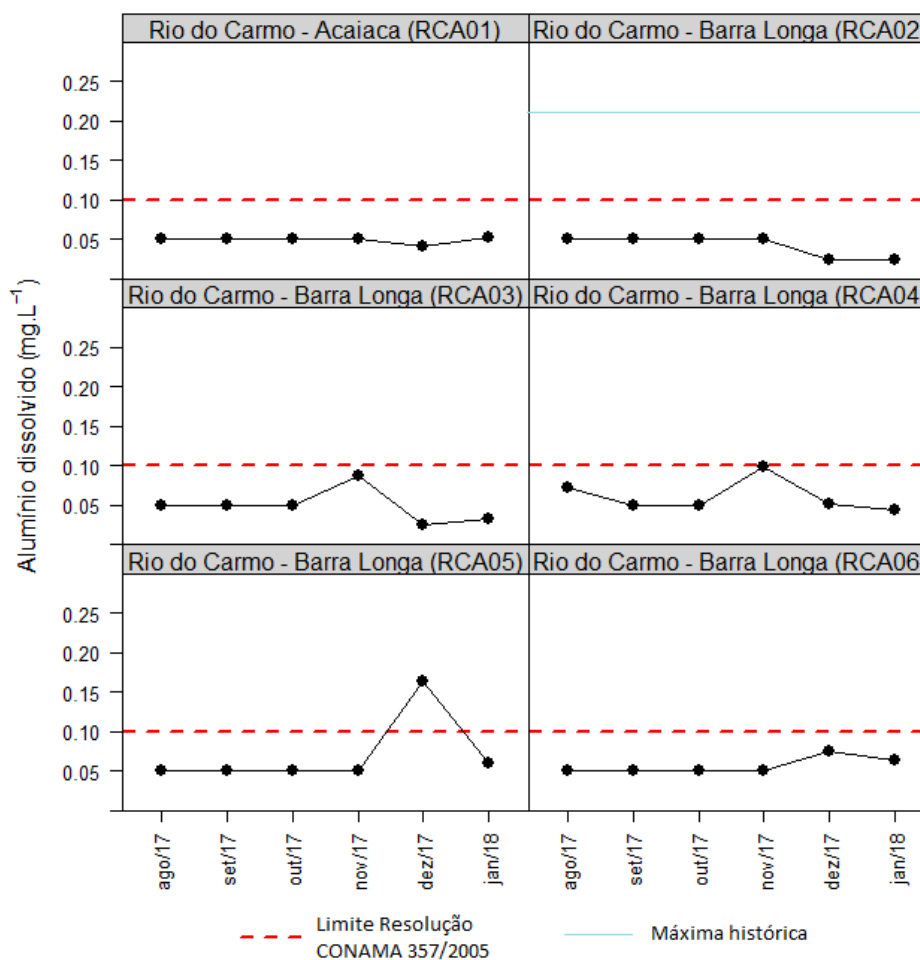
Figura 6-17 - Resultados de alumínio dissolvido de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

As concentrações de alumínio dissolvido nos seis pontos do rio do Carmo variaram entre $<0,025$ a $0,163 \text{ mg.L}^{-1}$ nas seis campanhas entre agosto/2017 a janeiro/2018. Todos os pontos de amostragem apresentaram concentrações abaixo do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) para águas doces classe 2, com exceção de RCA05 em dezembro/2017 ($0,163 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 6-18).

Figura 6-18 - Resultados de alumínio dissolvido de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As concentrações de alumínio dissolvido nos pontos localizados no rio Doce variaram entre $<0,02$ a $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ nas seis campanhas entre agosto/2017 a janeiro/2018. Em dezembro/2017 os pontos RDO1 (Rio Doce, MG), RDO07 (Periquito, MG), RDO08 (Governador Valadares, MG), RDO09 (Tumiritinga, MG), RDO10 (Resplendor, MG), RDO16 (Linhares, ES) e RDO12 e RDO13 (ambos em Colatina, ES); em janeiro de 2018 os pontos RDO1 (Rio Doce, MG), RDO03 (São D. Prata, MG) e RDO09 (Tumiritinga, MG) apresentaram concentrações de alumínio dissolvido acima o limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-19a e Figura 6-19b**).

Figura 6-19a - Resultados de alumínio dissolvido de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

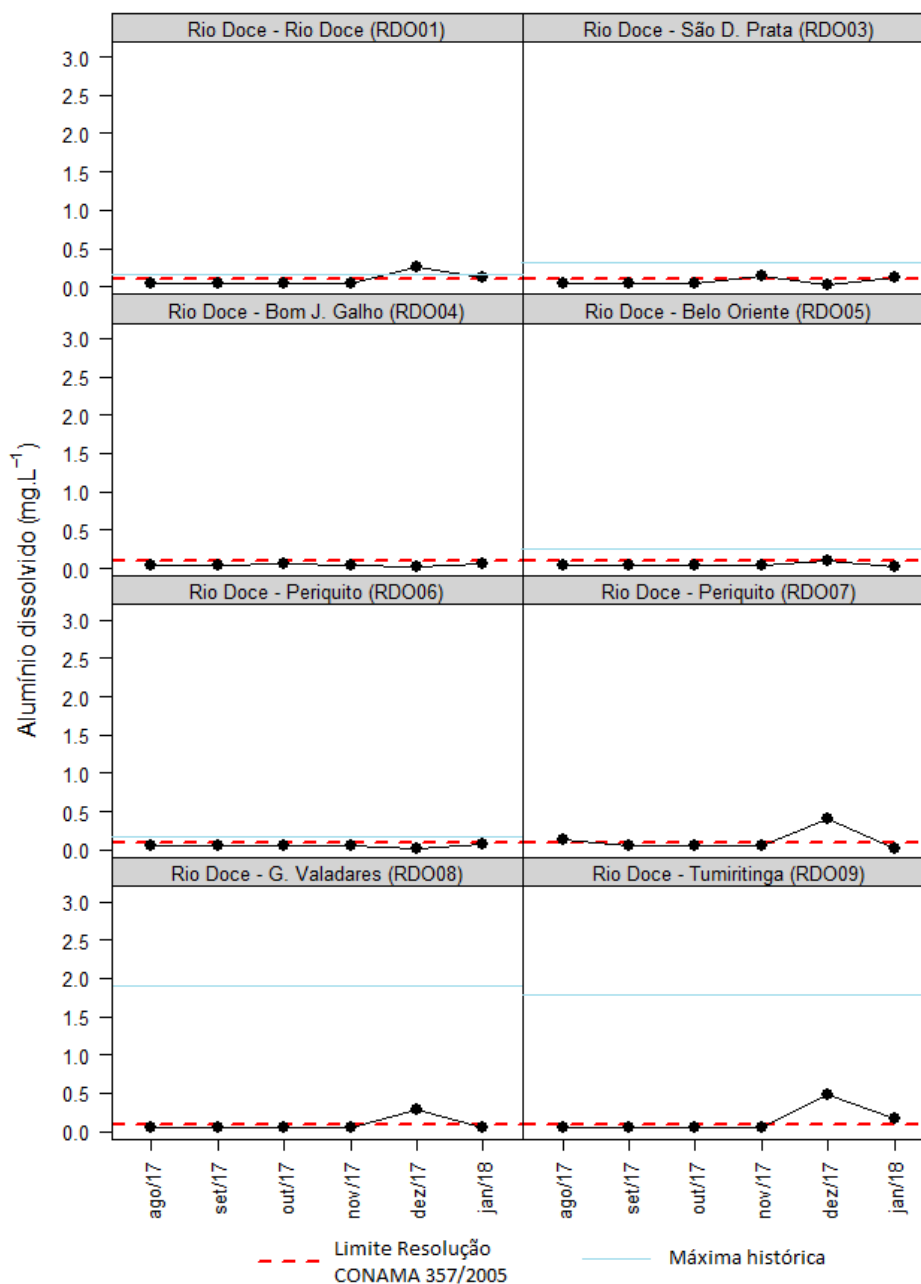
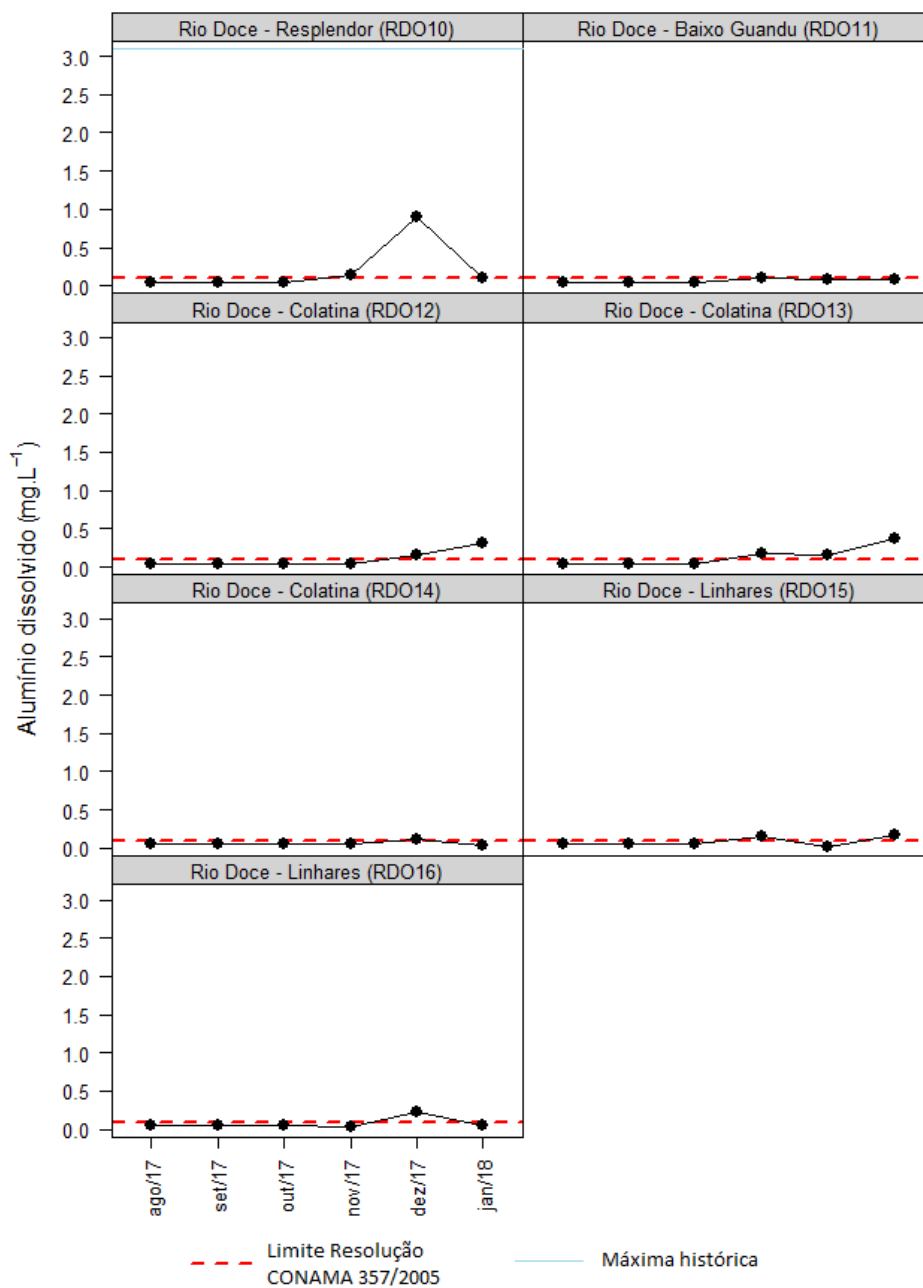


Figura 6-19b - Resultados de alumínio dissolvido de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

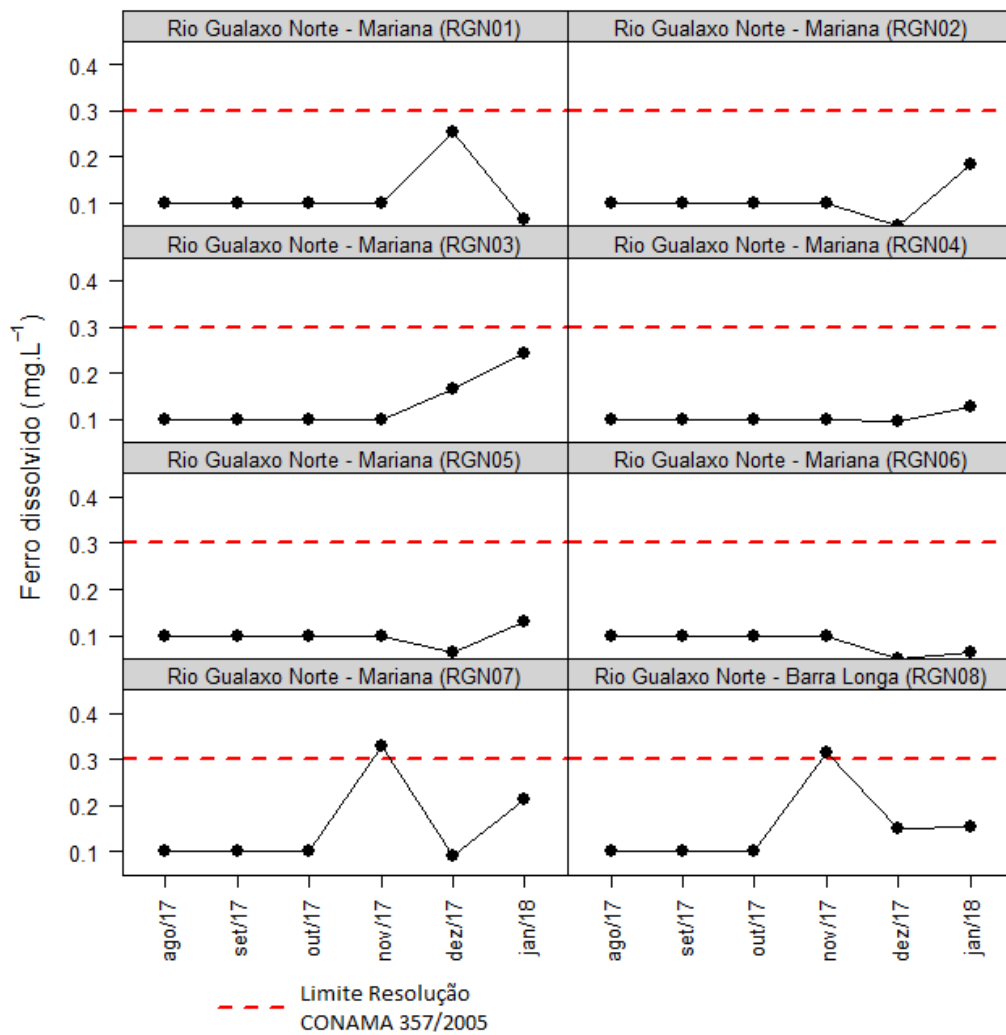


6.6.3 - Ferro dissolvido

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de ferro dissolvido nas águas das estações do rio Gualaxo do Norte variaram entre $<0,05$ a $0,33 \text{ mg.L}^{-1}$. Em novembro/2017, RGN07 (Mariana, MG) e RGN08 (Barra Longa, MG), apresentaram concentrações acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,3 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-20**).

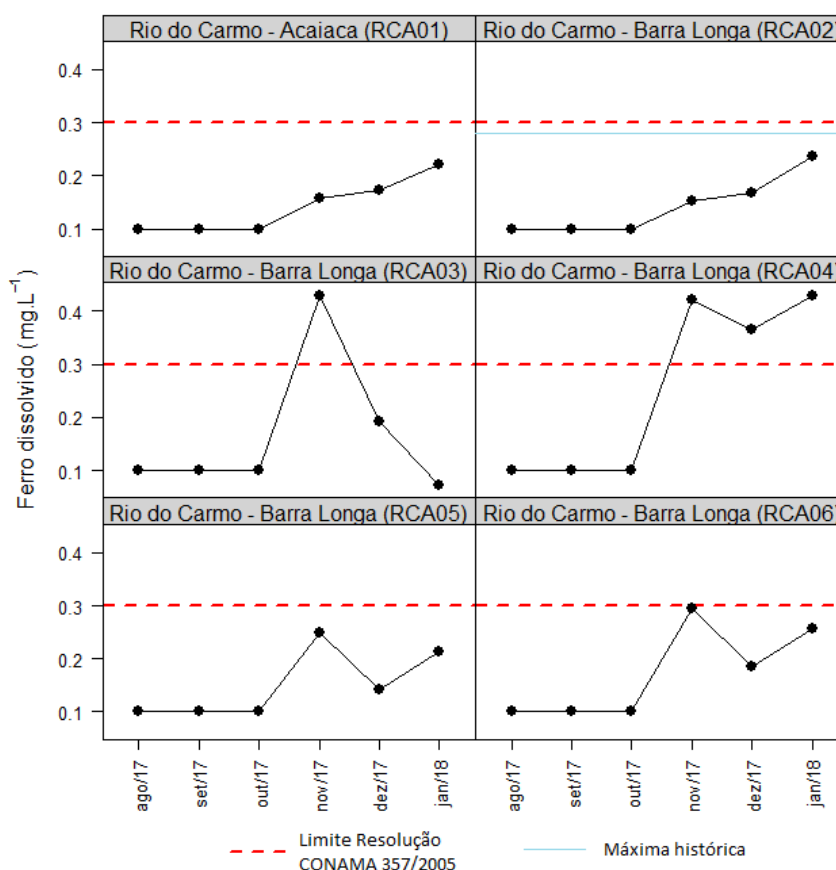
Figura 6-20 - Resultados de ferro dissolvido de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Nas estações de amostragem no rio do Carmo, as concentrações apresentaram-se em um intervalo entre $<0,1$, a $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$. Entre estes resultados, para RCA03 (Barra Longa, MG) em novembro/2017 e RCA04 (Barra Longa, MG) em novembro e dezembro/2017 e janeiro/2018 foram observadas concentrações acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,3 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 6-21).

Figura 6-21- Resultados de ferro dissolvido de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As concentrações de ferro dissolvido nos pontos do rio Doce variaram de 0,05 a 1,6 mg.L⁻¹. Com exceção de RDO11 (Baixo Guandu, ES) e RDO12 e RDO14 (ambos Colatina, ES), todos os demais pontos apresentaram concentrações de ferro dissolvido acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (0,3 mg.L⁻¹), principalmente nos meses de dezembro/2017 e janeiro/2018 (**Figura 6-22a** e **Figura 6-22b**).

Figura 6-22a - Resultados de ferro dissolvido de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

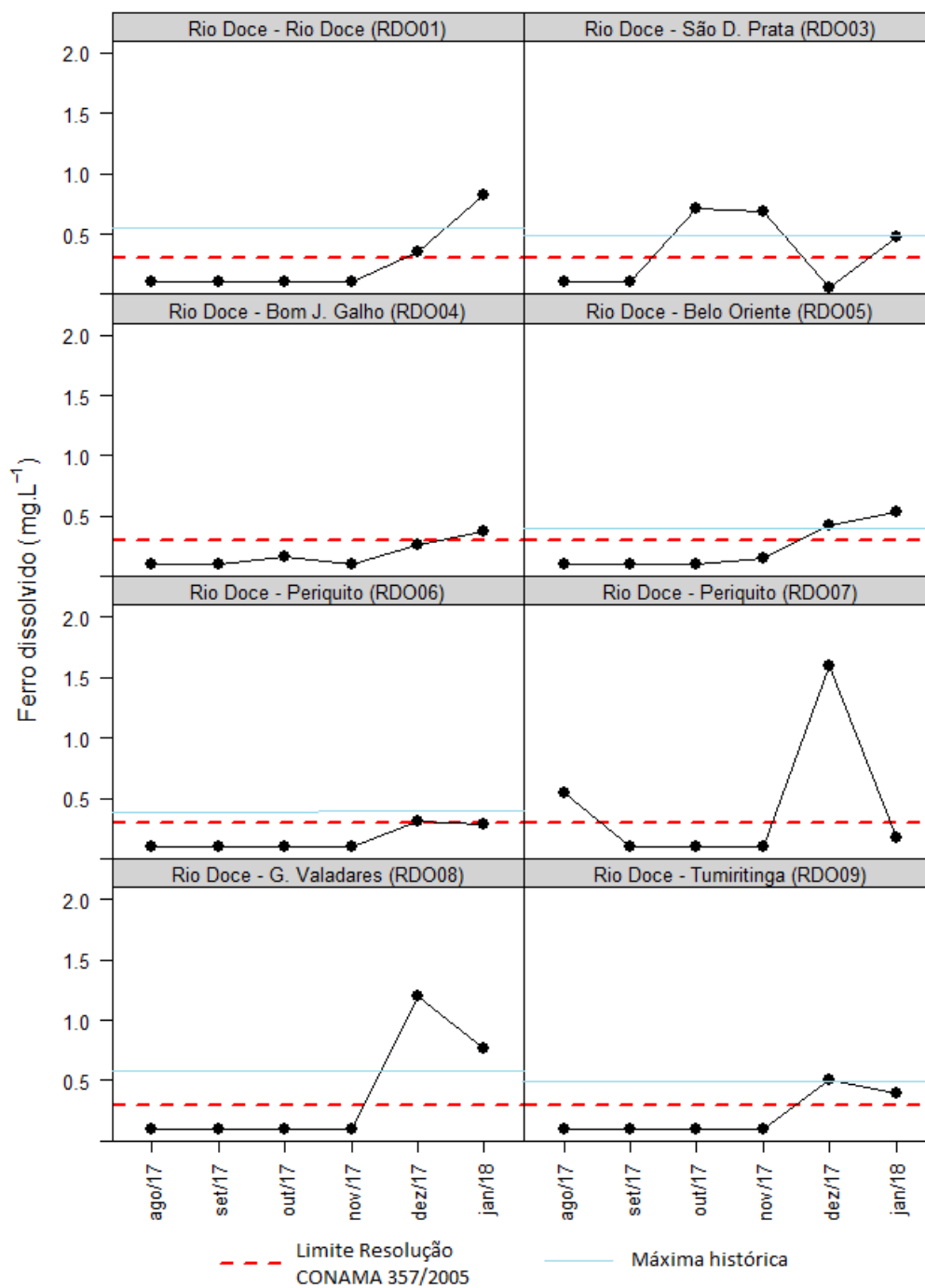
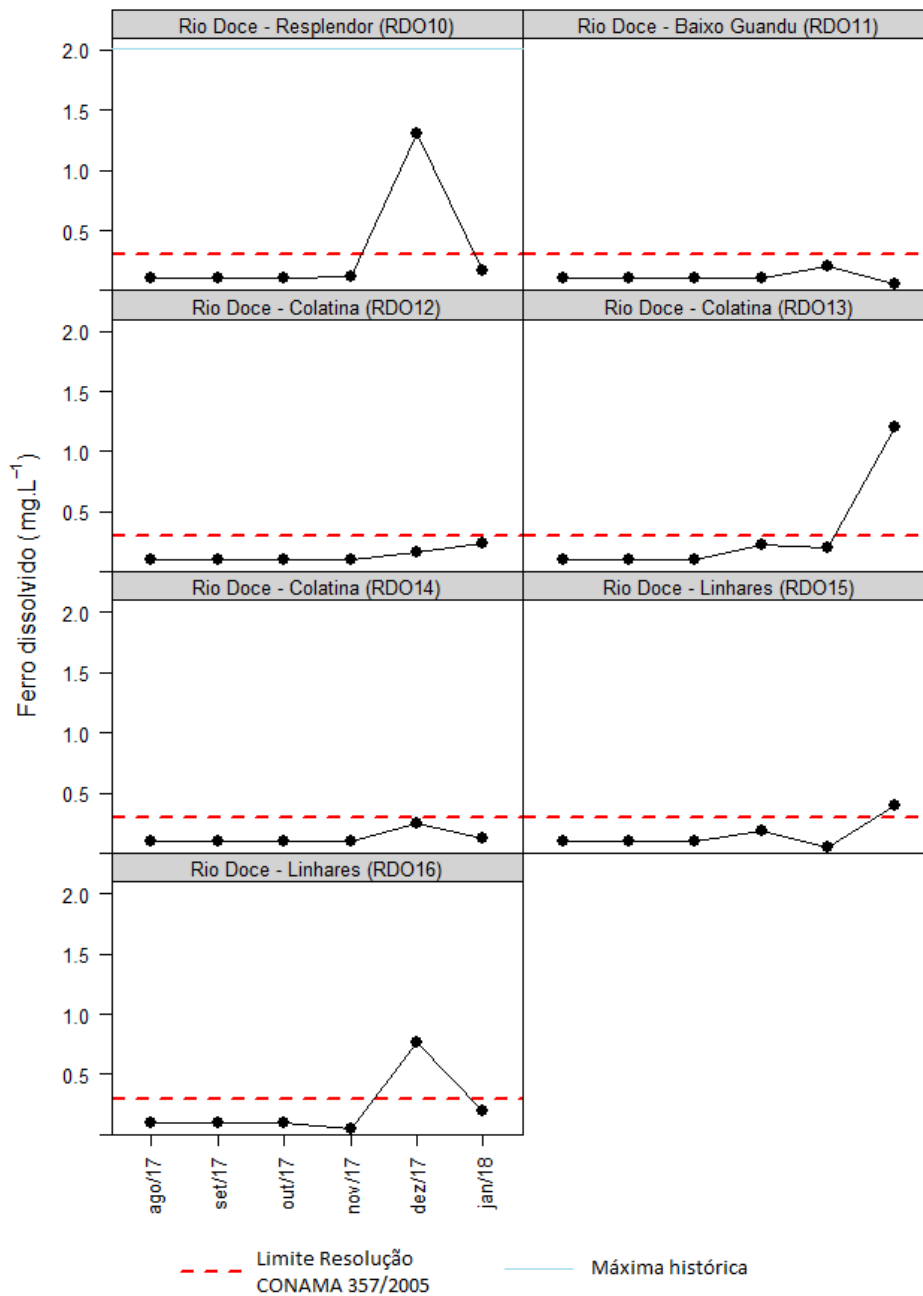


Figura 6-22b - Resultados de ferro dissolvido de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

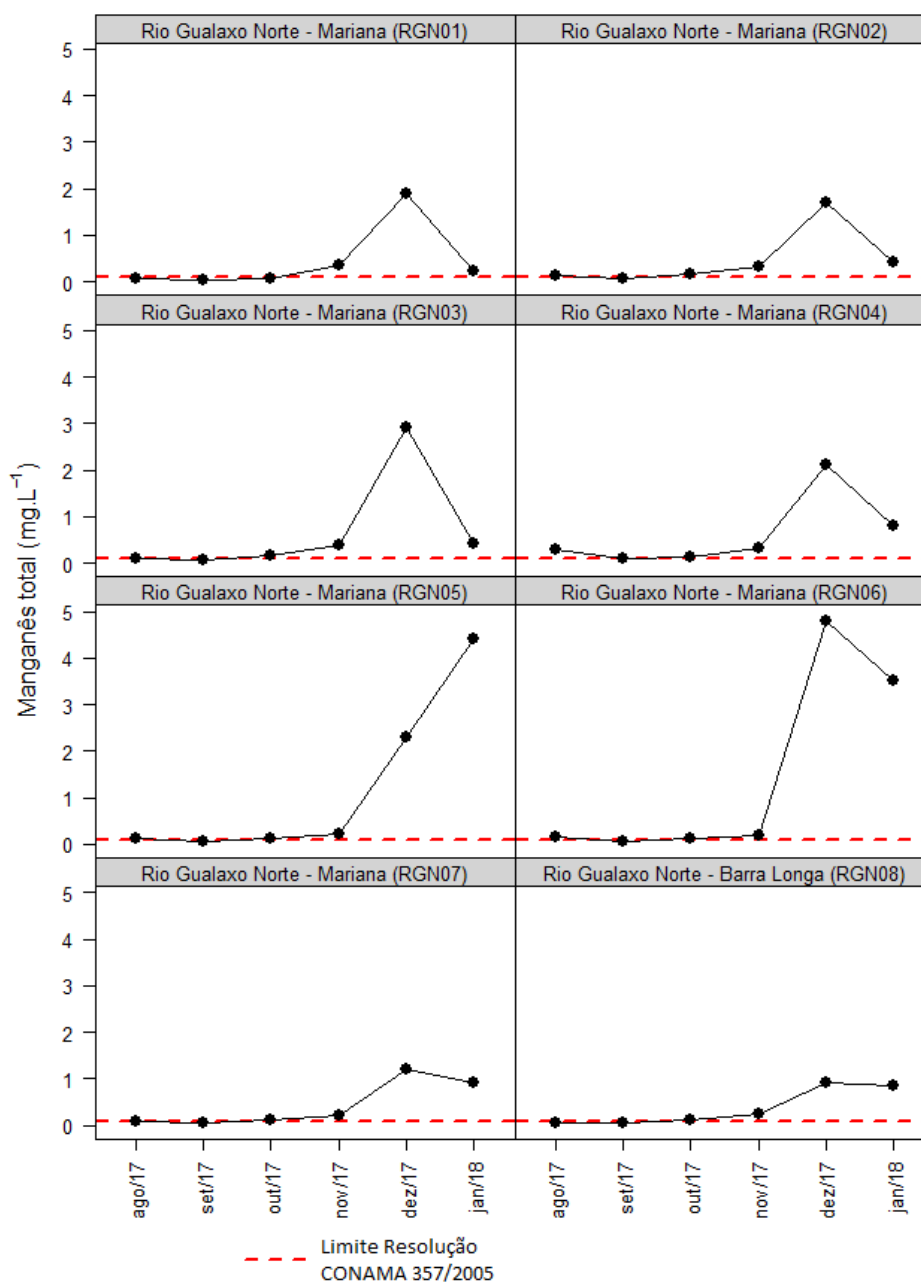


6.6.4 - Manganês total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de manganês total nas águas do rio Gualaxo do Norte variaram entre 0,039 e 4,8 mg.L⁻¹. A maioria dos pontos apresentaram concentrações acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (0,1 mg.L⁻¹), nas amostragens de novembro e dezembro/2017 e janeiro/2018 (**Figura 6-23**). Sendo nítido, um aumento nas concentrações associado ao período característico de chuvas.

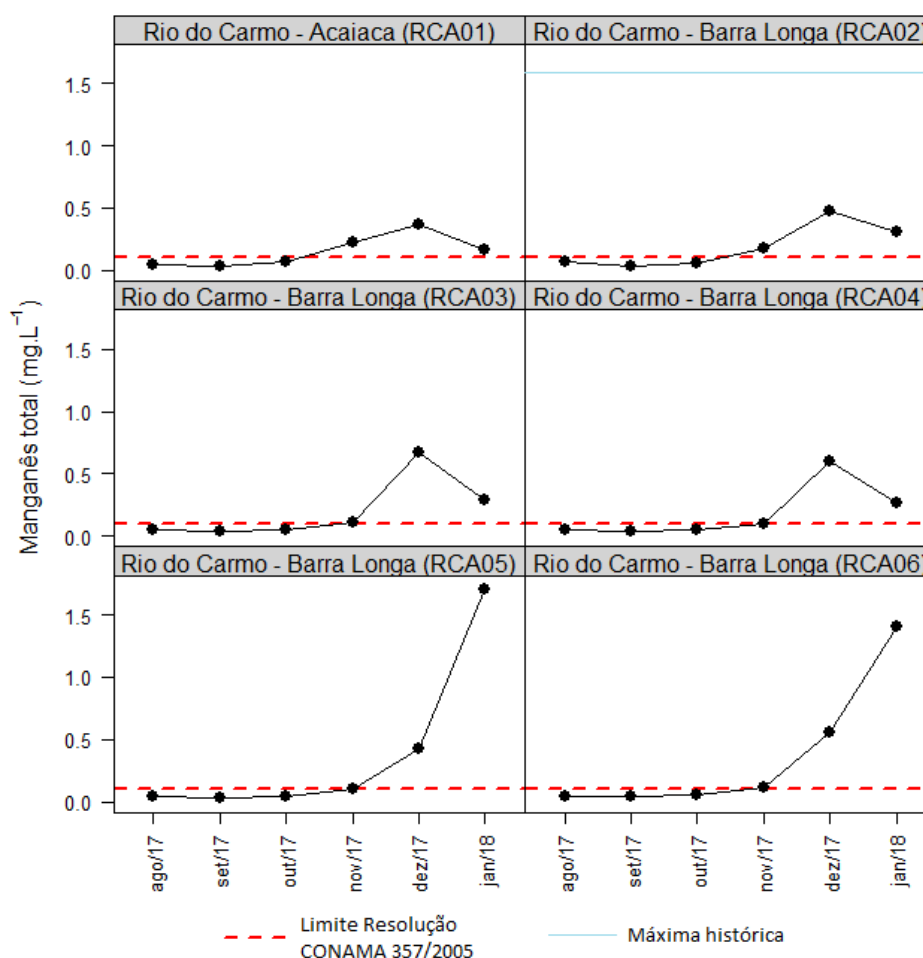
Figura 6-23 - Resultados de manganês total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Nos pontos localizados no rio do Carmo, as concentrações de manganês total variaram entre 0,03 a 1,7 mg.L⁻¹. Sendo observado o mesmo padrão encontrado para o rio Gualaxo do Norte, com todos os pontos apresentando concentração acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (0,1 mg.L⁻¹) nas amostragens de novembro e dezembro/2017 e janeiro/2018 (Figura 6-24).

Figura 6-24 - Resultados de manganês total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Para os pontos localizados no rio Doce as concentrações de manganês total variaram $<0,01$ a $0,61 \text{ mg.L}^{-1}$. Com exceção de RDO06 (Periquito, MG) e RDO16 (Linhares, ES), todos os pontos apresentaram concentrações de manganês total acima do valor limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$). Assim como observado para o ferro dissolvido, os valores de manganês total acima da referida resolução são mais comuns no mês de dezembro/2017, porém com exemplos também em novembro/2017 e janeiro/2018 (**Figura 6-25a e Figura 6-25b**).

Figura 6-25a - Resultados de manganês total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

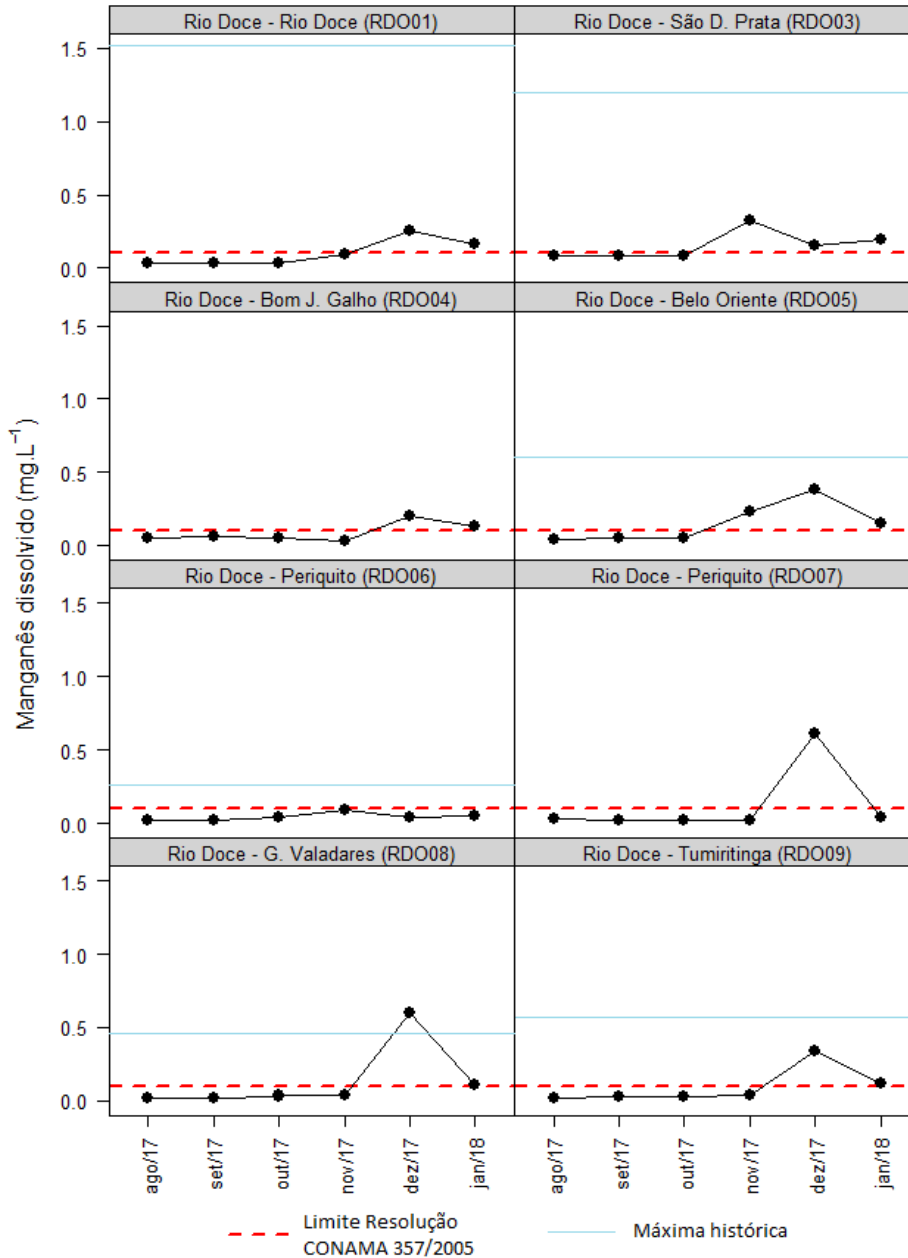
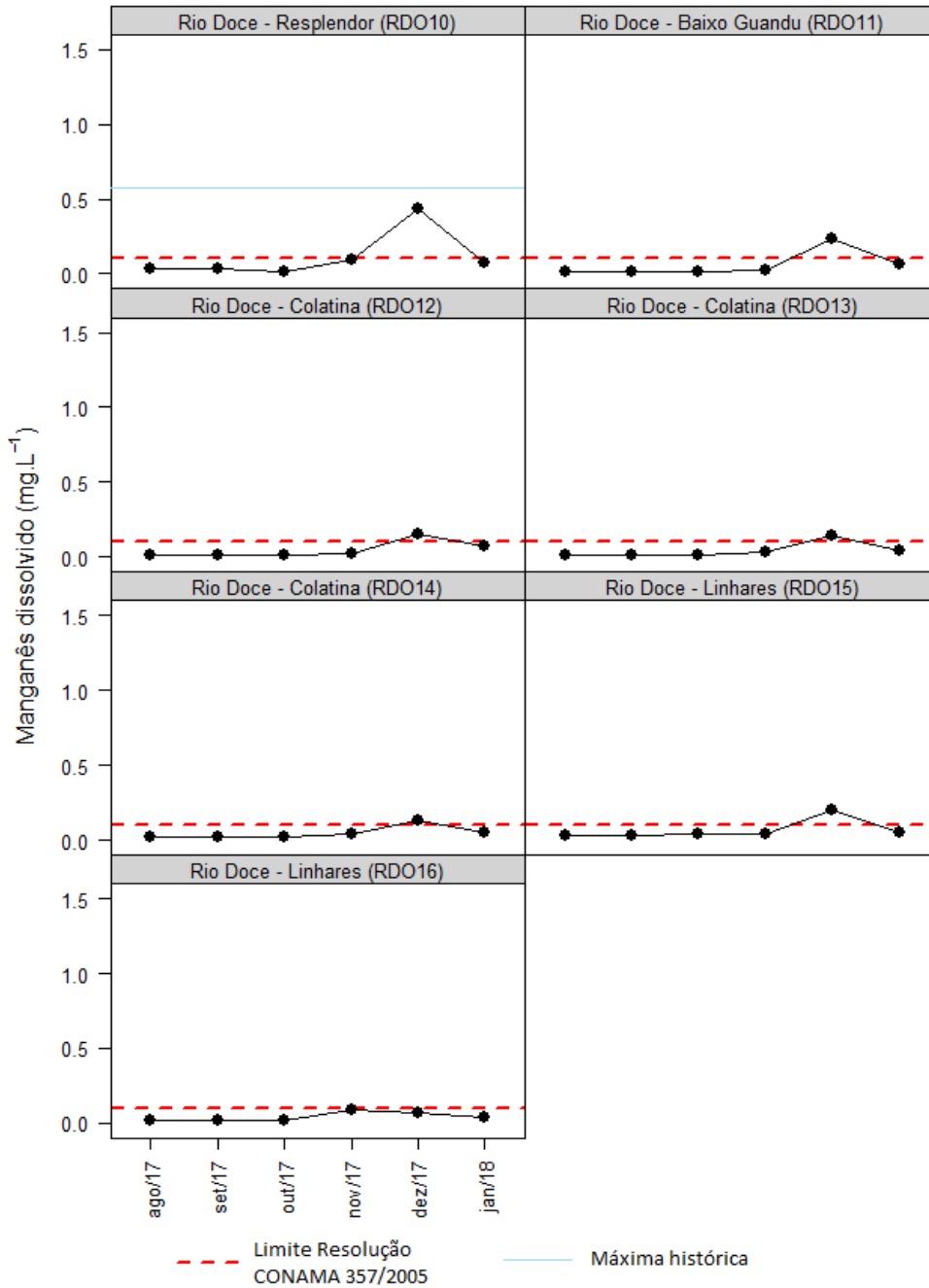


Figura 6-25b - Resultados de manganês total de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

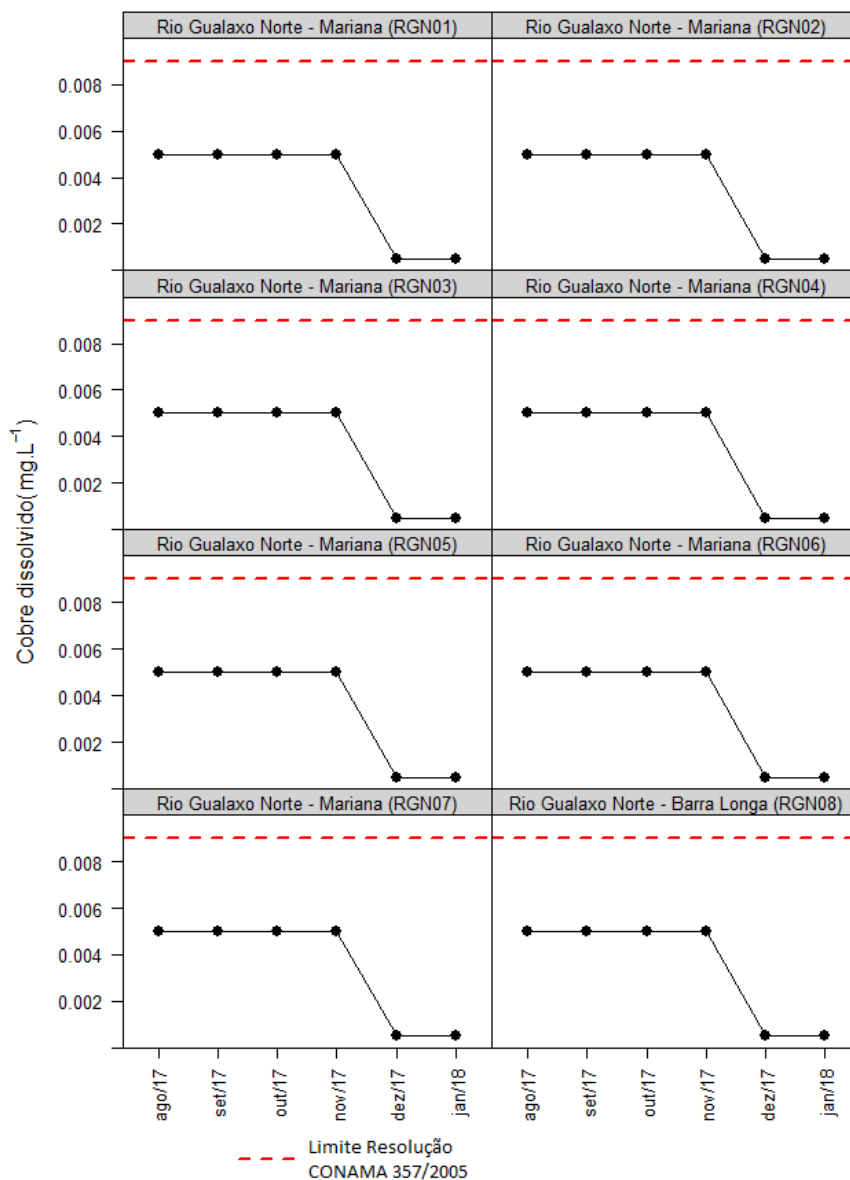


6.6.5 - Cobre dissolvido

Rio Gualaxo do Norte

Todos os resultados para cobre dissolvido nas estações do rio Gualaxo do Norte apresentaram-se abaixo do LQ ($0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ de agosto a novembro/2017 e $0,0005 \text{ mg.L}^{-1}$ dezembro/2017 e janeiro/2018) (**Figura 6-26**).

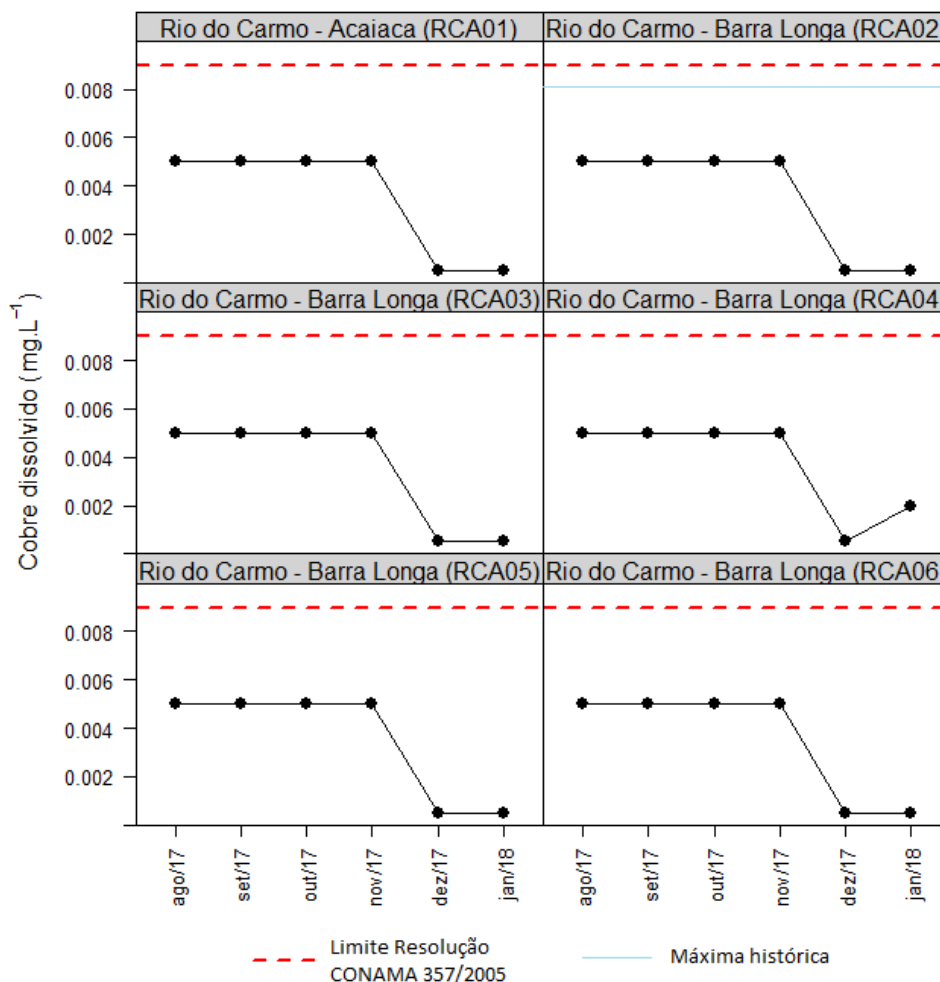
Figura 6-26 - Resultados de cobre dissolvido de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Nos pontos de amostragem do rio do Carmo, apenas uma amostra no ponto RCA04 (Barra Longa, MG) apresentou resultado acima do LQ (0,0005 mg.L⁻¹), sendo valor registrado de 0,00195 mg.L⁻¹, no mês de janeiro/2018 (**Figura 6-27**).

Figura 6-27 - Resultados de cobre dissolvido de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Assim como observado para os rios Gualaxo do Norte e do Carmo, para todos os pontos localizados no rio Doce as amostras também permaneceram abaixo do LQ, à exceção de RDO04 em janeiro/2018 ($0,00115 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 6-28a e Figura 6-28b).

Figura 6-28a - Resultados de cobre dissolvido de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

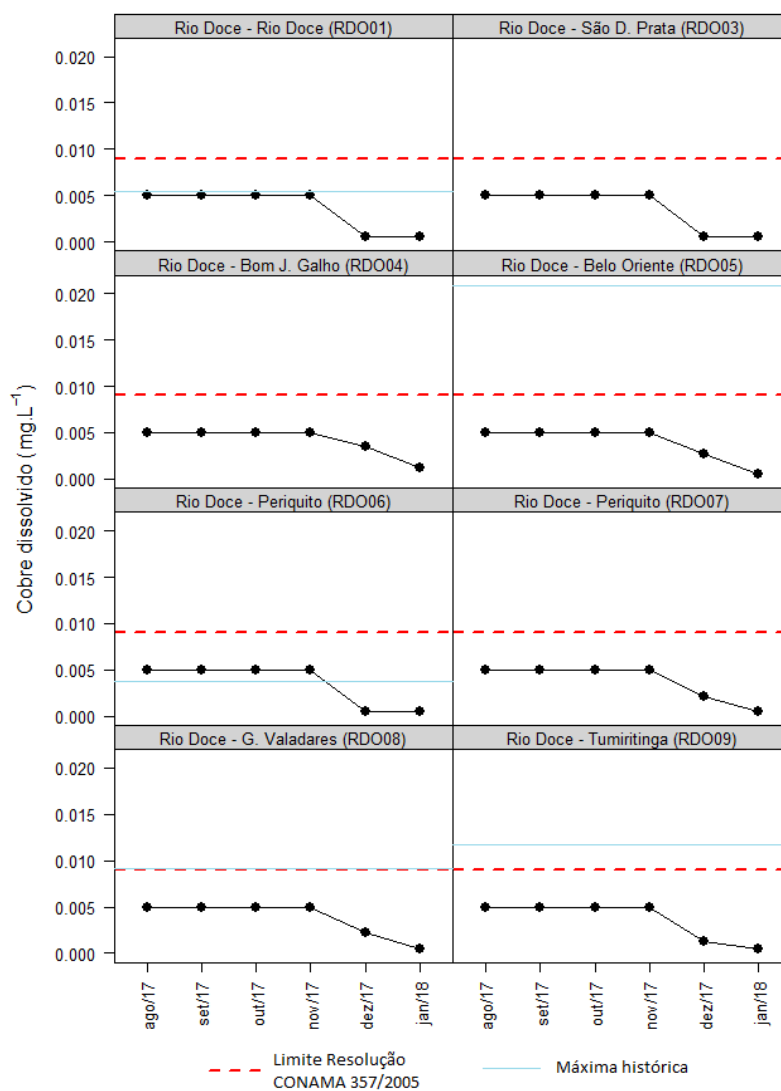
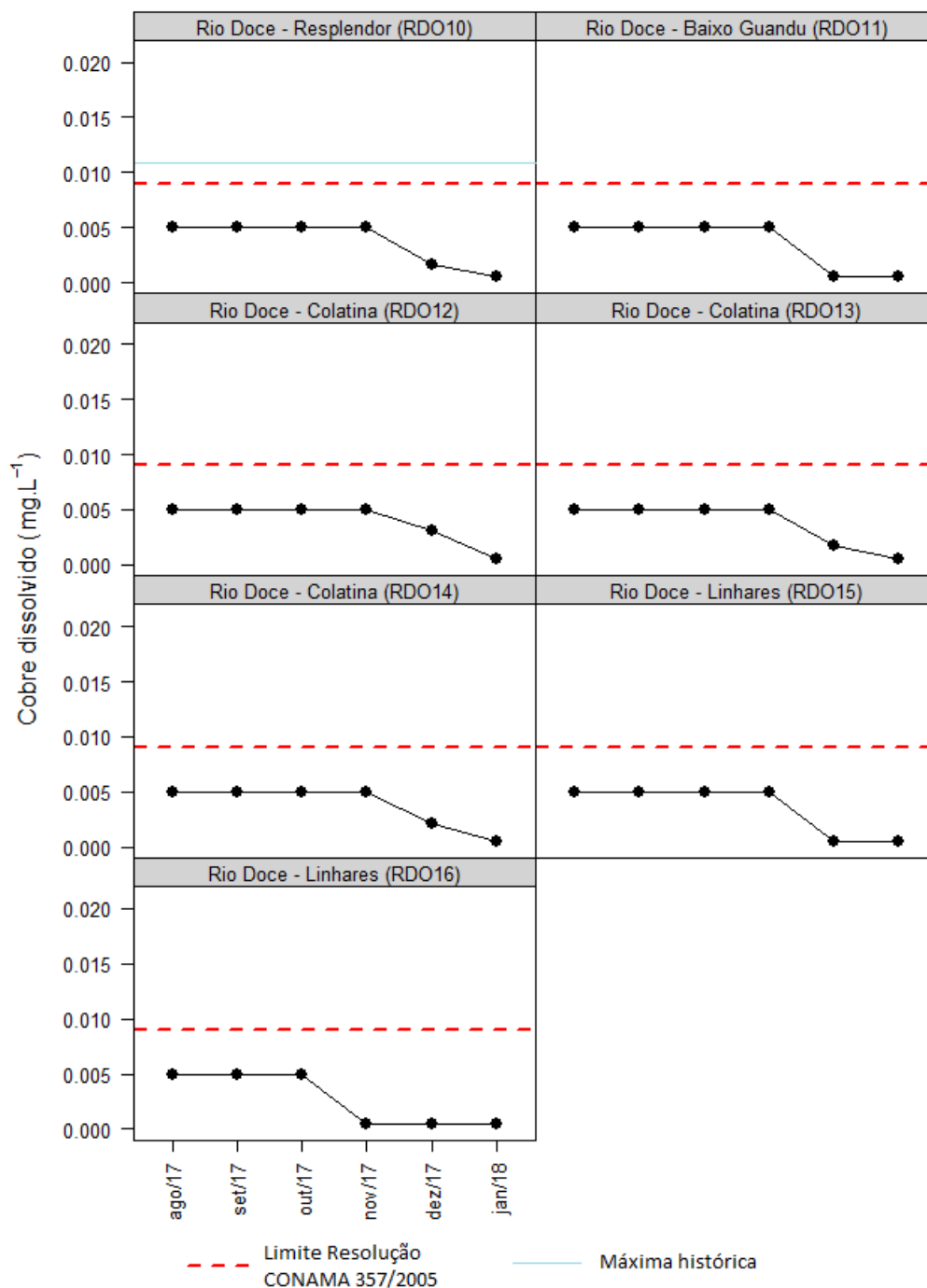


Figura 6-28b - Resultados de cobre dissolvido de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

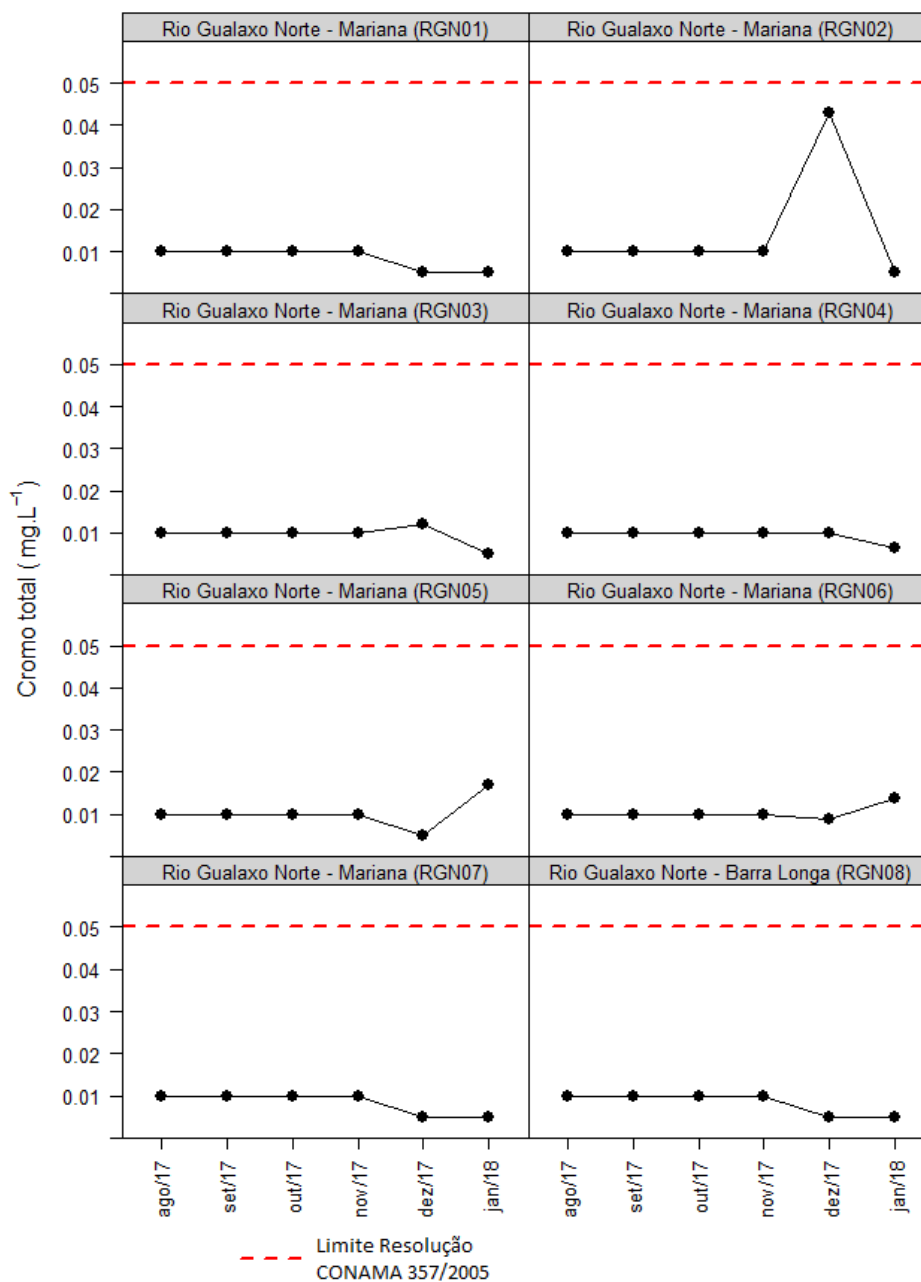


6.6.6 - Cromo total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de cromo total para os oito pontos no rio Gualaxo do Norte variaram entre $<0,005$ a $0,043 \text{ mg.L}^{-1}$. Nenhum dos oito pontos de amostragem apresentaram concentrações acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-29**).

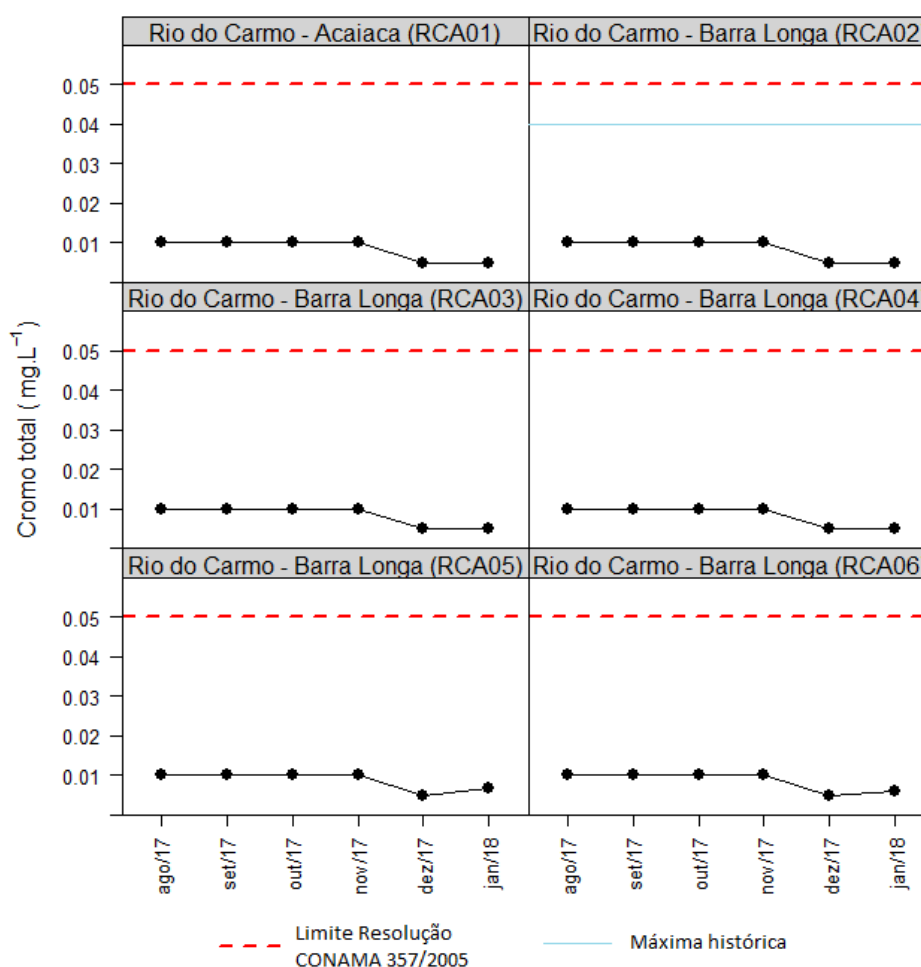
Figura 6-29 - Resultados de cromo total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

No rio do Carmo, apenas duas das 36 amostras apresentaram concentrações de cromo total acima do LQ (0,006 e 0,007 mg.L⁻¹). Estas duas amostras foram coletadas em janeiro/2018 nos pontos RCA05 e RCA06 (Barra Longa, MG). Contudo, esses valores ficaram abaixo do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (0,05 mg.L⁻¹) (Figura 6-30).

Figura 6-30 - Resultados de cromo total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Para os pontos localizados no rio Doce, as concentrações de cromo total variaram de $<0,005$ a $0,023 \text{ mg.L}^{-1}$. Todos os pontos de amostragem apresentaram concentrações de cromo total abaixo do limite preconizado Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-31a e Figura 6-31b**).

Figura 6-31a - Resultados de cromo total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

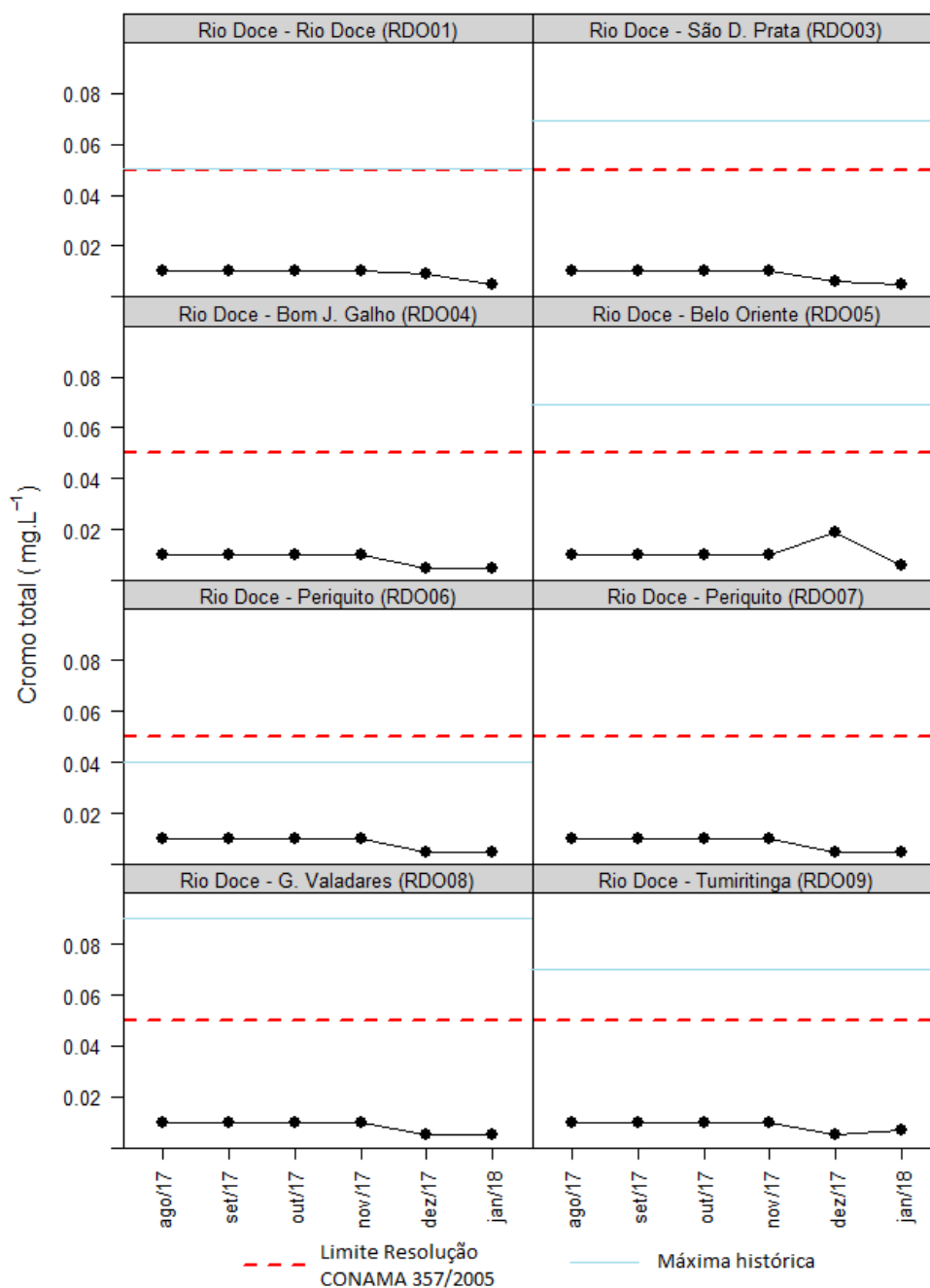
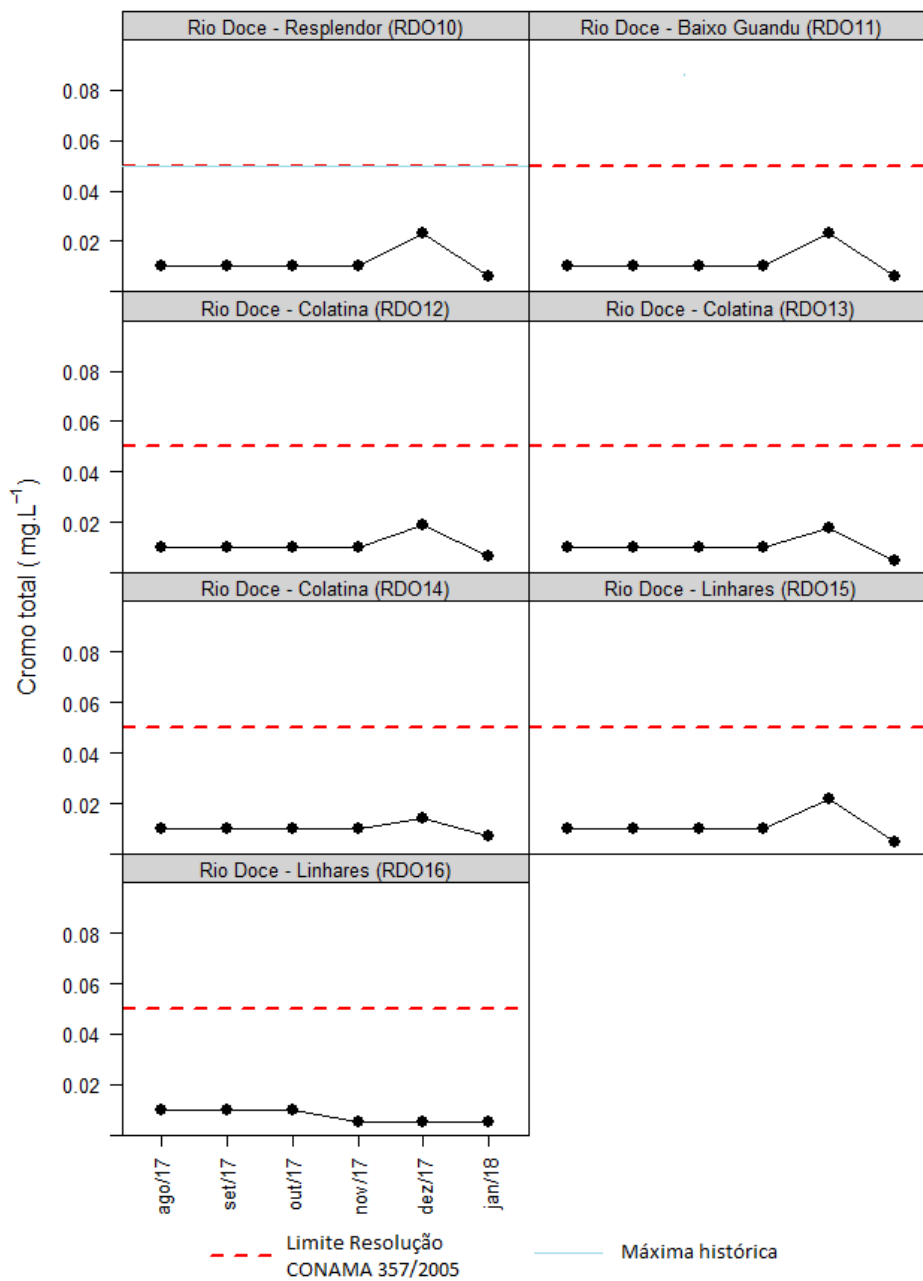


Figura 6-31b - Resultados de cromo total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

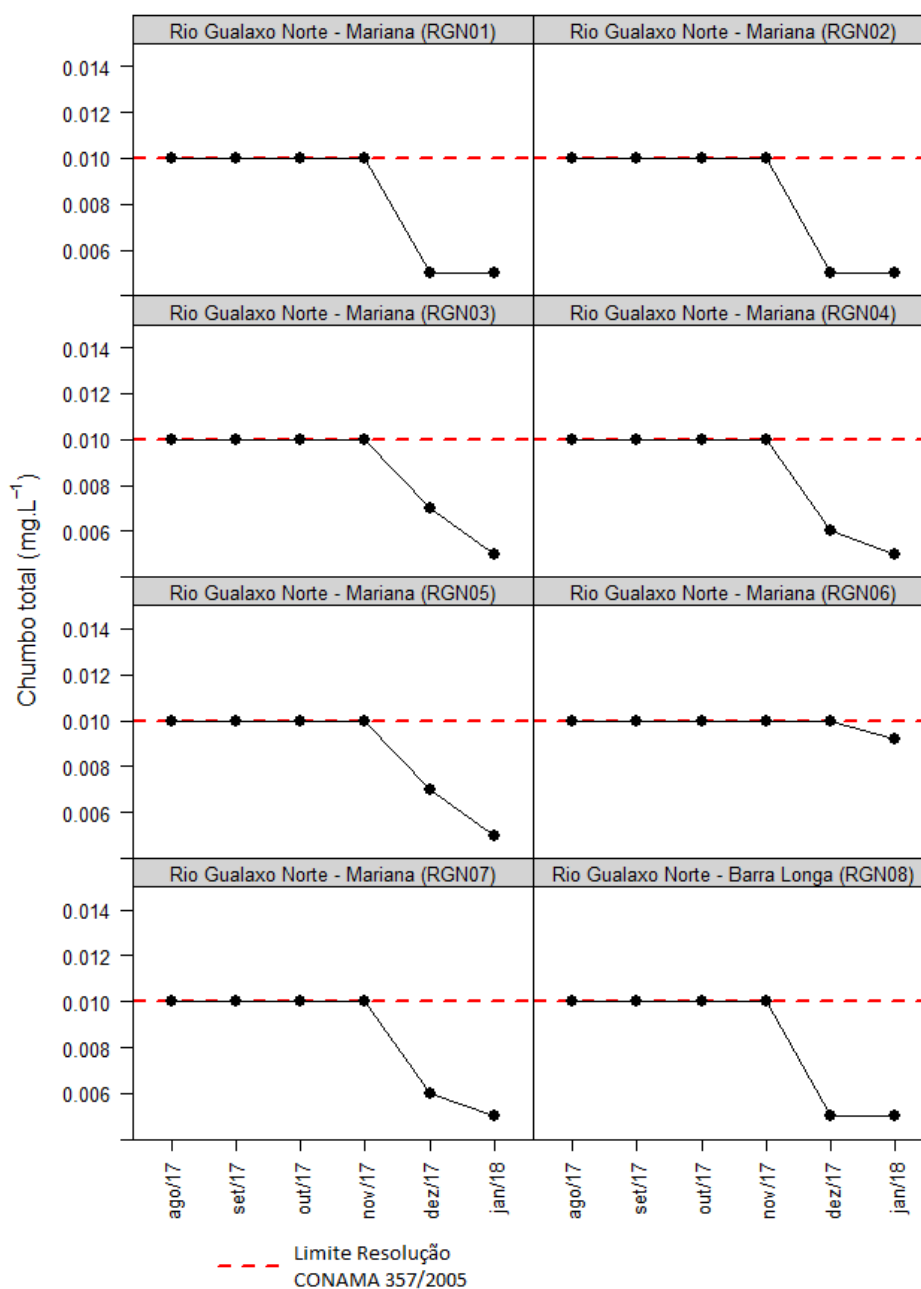


6.6.7 - Chumbo total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de chumbo total nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte variaram de $<0,005$ a $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. Nesses pontos não foram observados valores de chumbo total maiores do que o preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-32**).

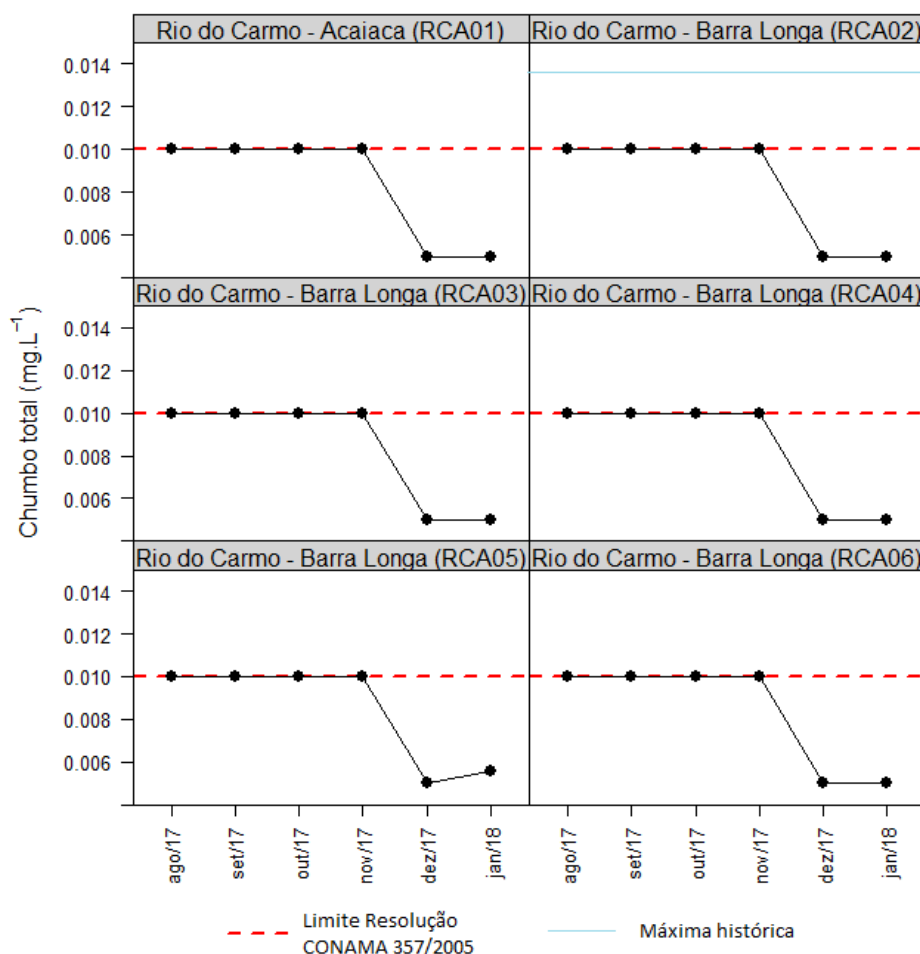
Figura 6-32 - Resultados de chumbo total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

As concentrações de chumbo total nos seis pontos do rio do Carmo variaram de $<0,005$ a $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. Assim como observado para o rio Gualaxo do Norte, entre agosto/2017 e janeiro/2018 não foram observados valores de chumbo total maiores do que o preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-33**).

Figura 6-33 - Resultados de chumbo total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As concentrações de chumbo total nos pontos localizados no rio Doce variaram de $<0,005$ a $0,015 \text{ mg.L}^{-1}$. Na amostragem de dezembro/2017 os pontos RDO08 (Governador Valadares, MG), RDO10 (Resplendor, MG), RDO11 (Baixo Guandu, ES), RDO14 (Colatina, ES) e RDO15 (Linhares, ES) apresentaram concentrações de chumbo total acima do que é preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 águas doces classe 2 ($0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-34a** e **Figura 6-34b**).

Figura 6-34a - Resultados de chumbo total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

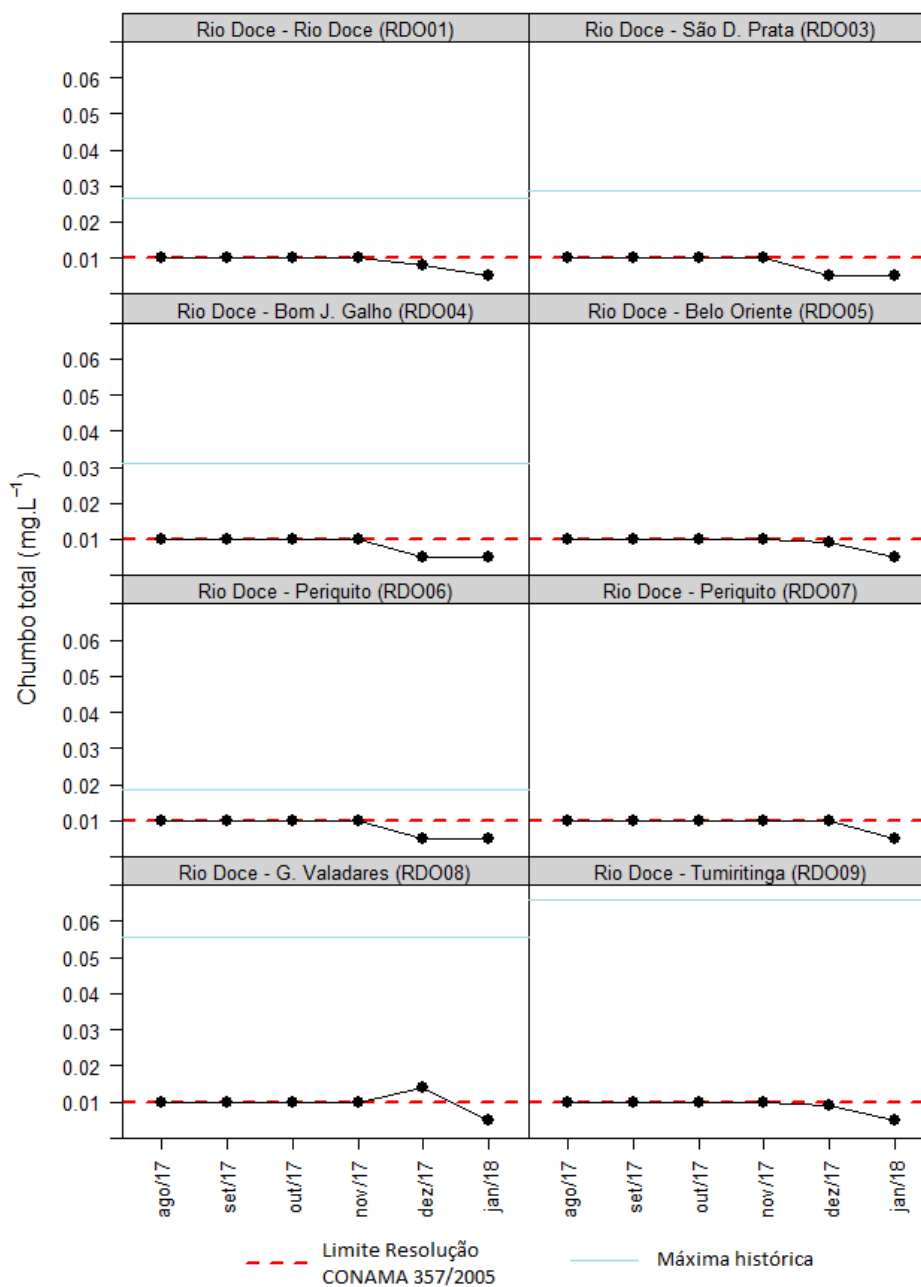
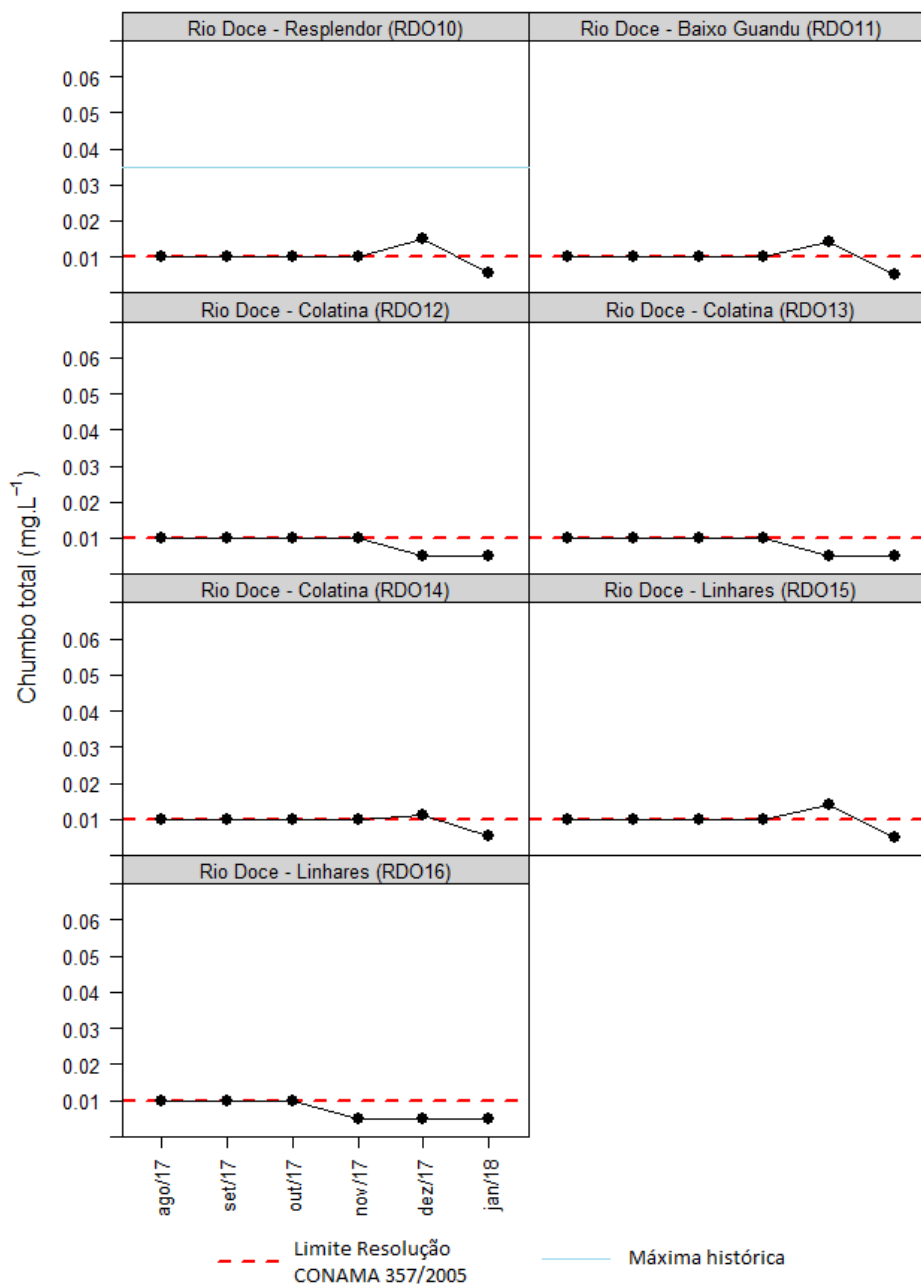


Figura 6-34b - Resultados de chumbo total de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

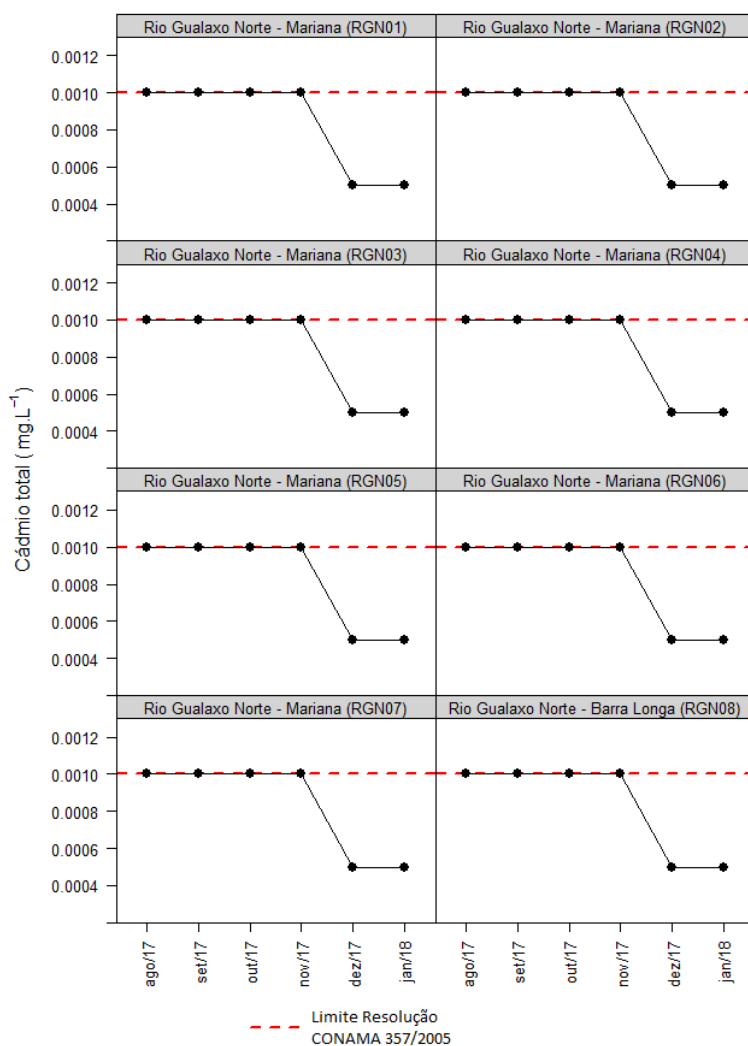


6.6.8 - Cádmió total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de cádmio total nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte ficaram abaixo do LQ (0,001 mg.L⁻¹ de agosto a novembro/2017 e 0,0005 mg.L⁻¹ dezembro/2017 e janeiro/2018) (Figura 6-35).

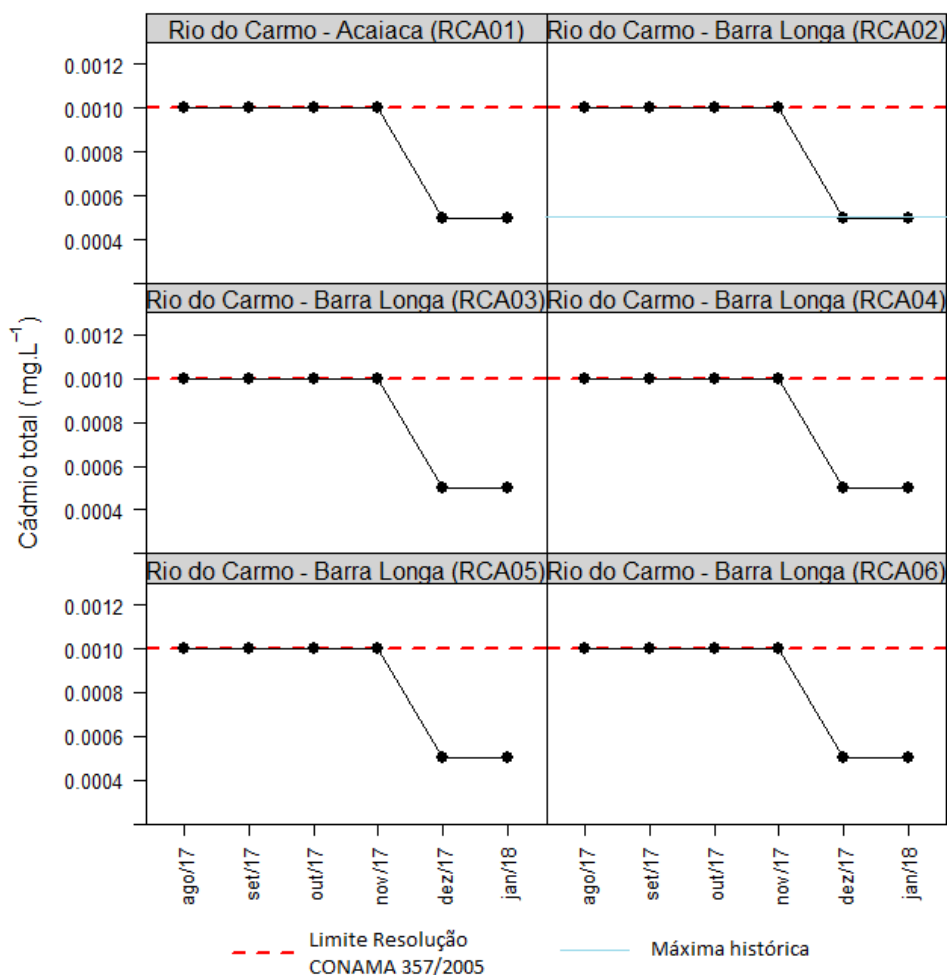
Figura 6-35 - Resultados de cádmio total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Assim como verificado para o rio Gualaxo do Norte, as concentrações de cádmio total nos seis pontos do rio do Carmo também ficaram abaixo do LQ (0,001 mg.L⁻¹ de agosto a novembro/2017 e 0,0005 mg.L⁻¹ dezembro/2017 e janeiro/2018) (Figura 6-36).

Figura 6-36 - Resultados de cádmio total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Conforme observado para os rios Gualaxo do Norte e do Carmo, as concentrações de cádmio total nos quinze pontos do rio Doce também ficaram abaixo do LQ (0,001 mg.L⁻¹ de agosto a novembro/2017 e 0,0005 mg.L⁻¹ dezembro/2017 e janeiro/2018) (**Figura 6-37a** e **Figura 6-37b**).

Figura 6-37a - Resultados de cádmio total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

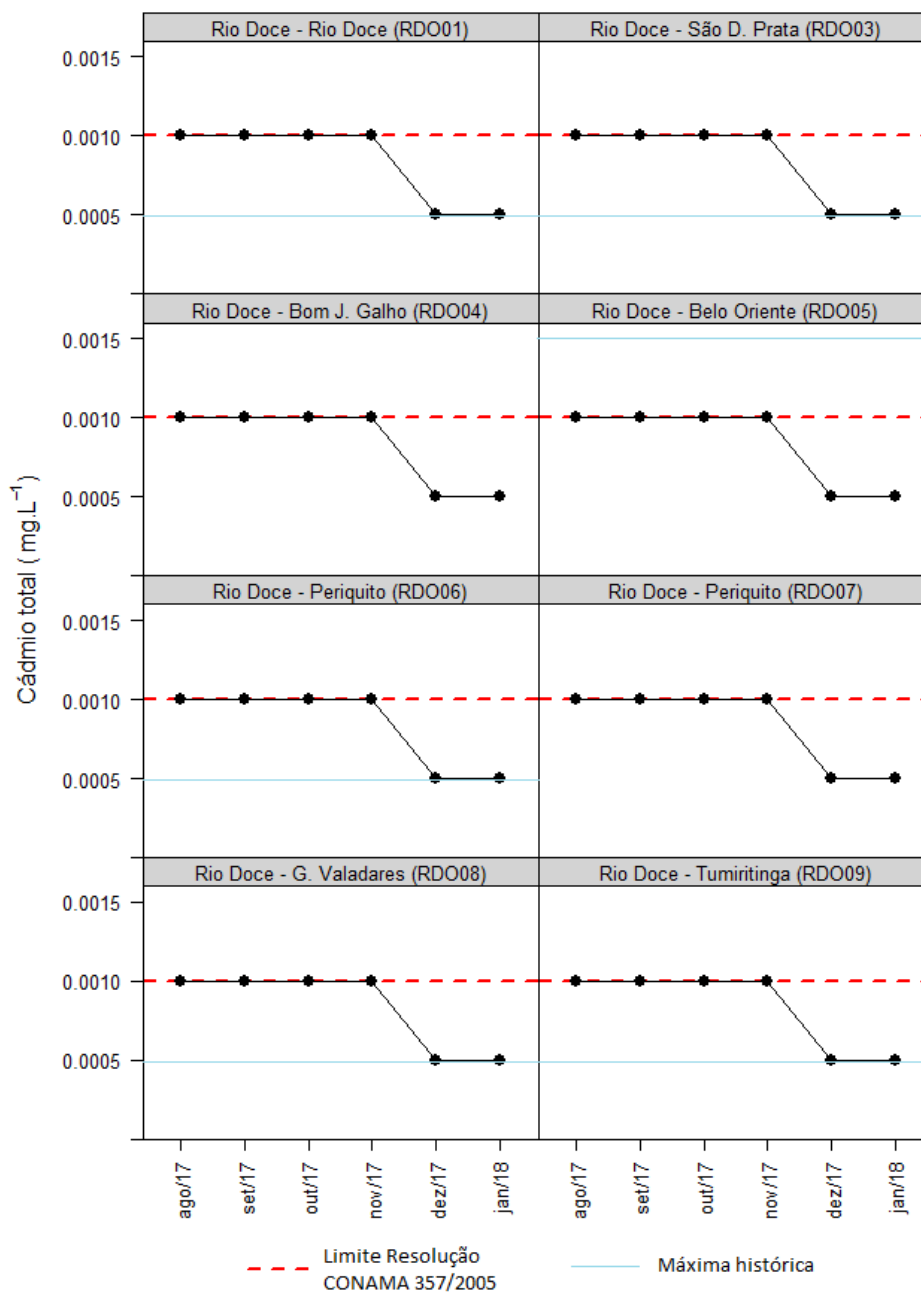
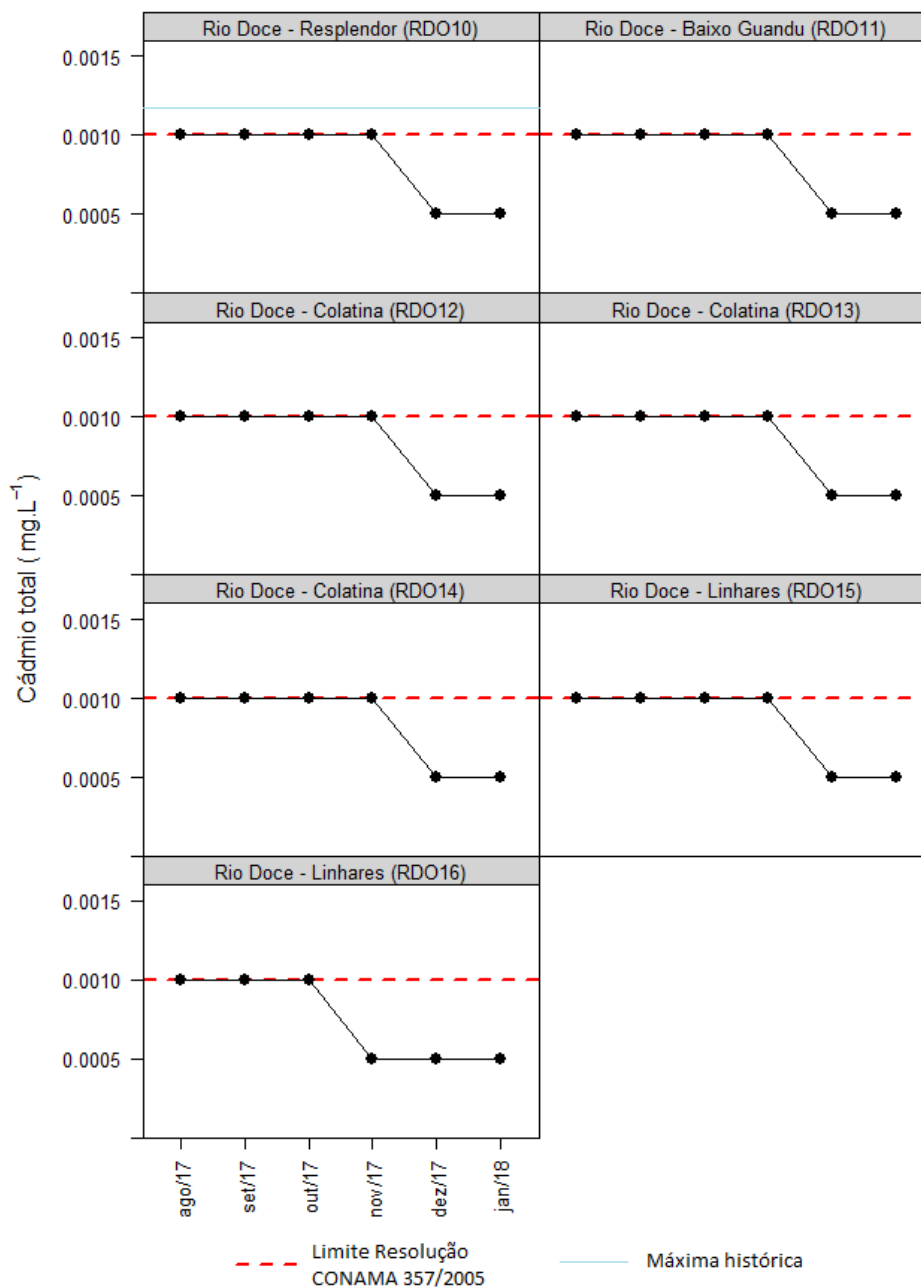


Figura 6-37b - Resultados de cádmio total de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

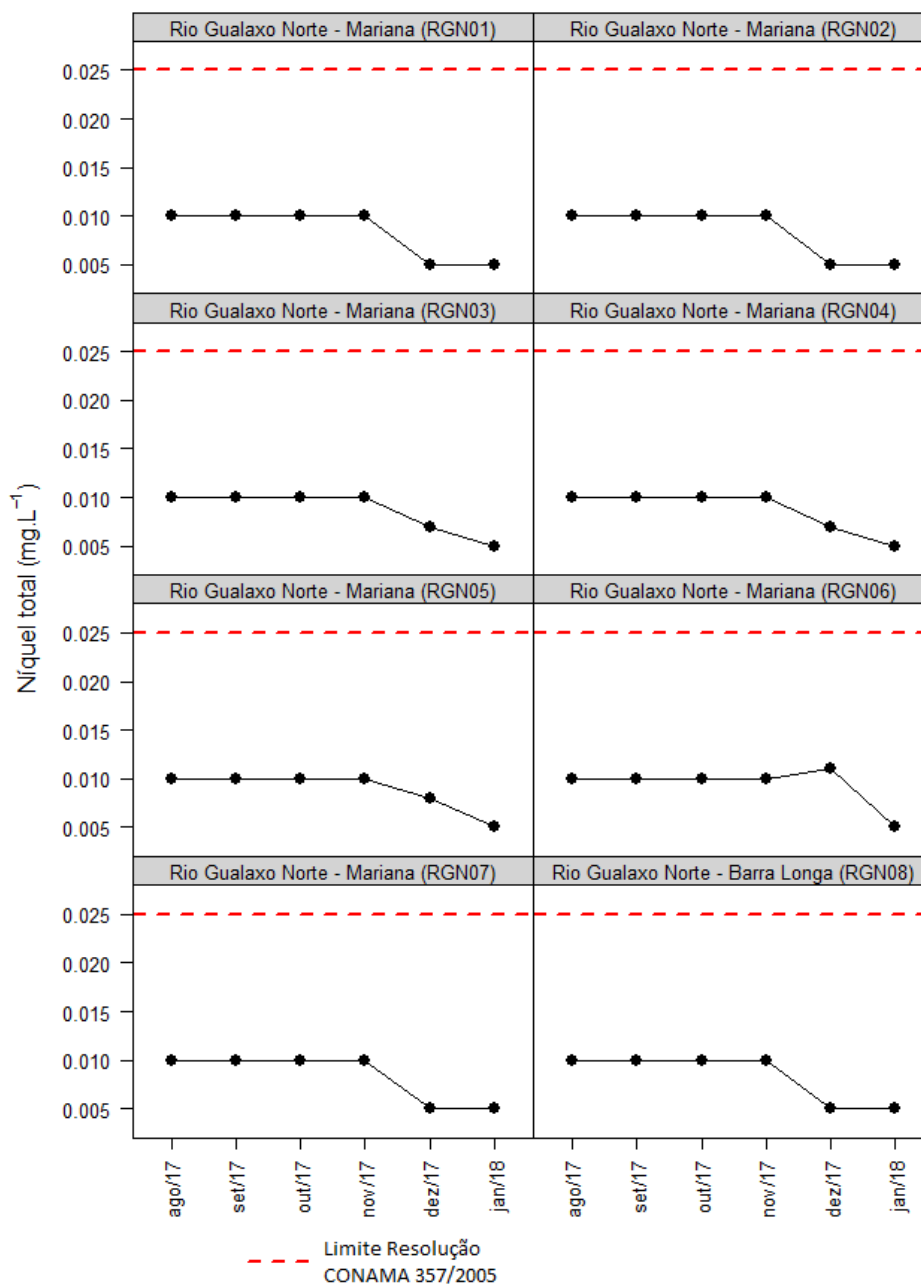


6.6.9 - Níquel total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de níquel total nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte, variaram de $<0,005$ a $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ entre agosto/2017 e janeiro/2018, não sendo observados valores de níquel total maiores do que o preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,025 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-38**).

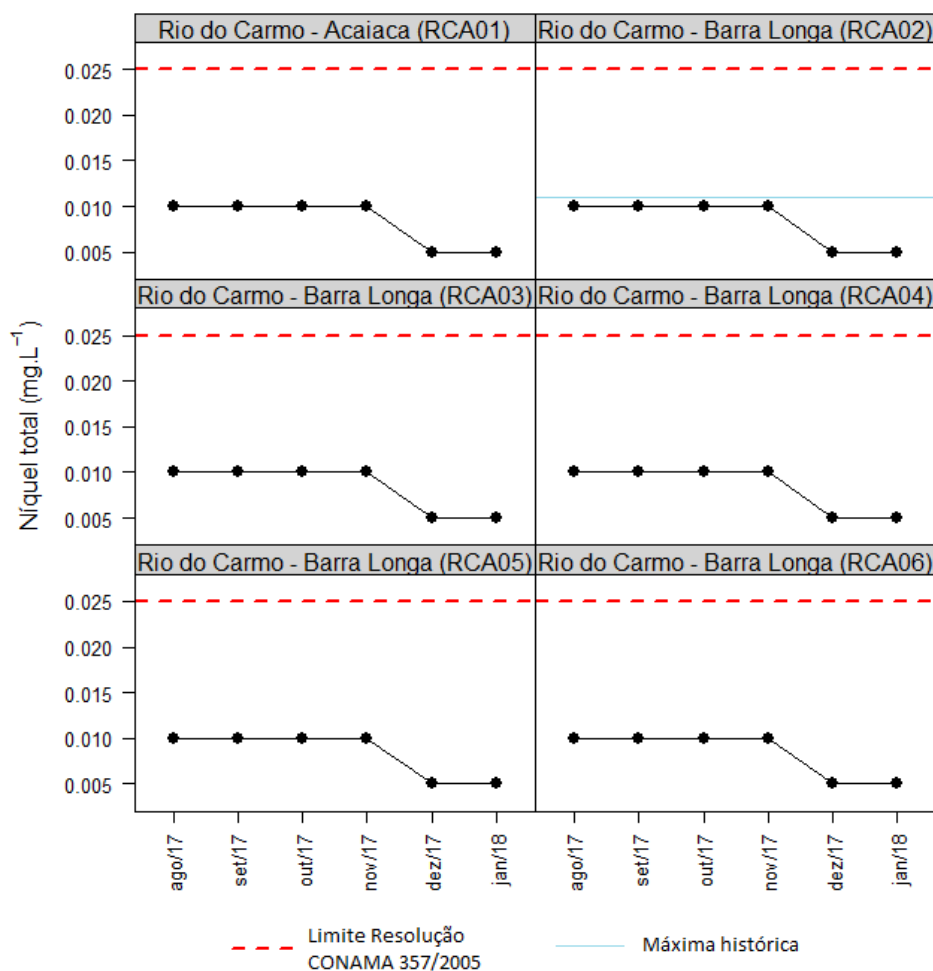
Figura 6-38 - Resultados de níquel total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Para os seis pontos do rio do Carmo, todas as concentrações de níquel total ficaram abaixo do LQ (0,001 mg.L⁻¹ de agosto a novembro/2017 e 0,0005 mg.L⁻¹ dezembro/2017 e janeiro/2018) (Figura 6-39).

Figura 6-39 - Resultados de níquel total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

Para os pontos localizados no rio Doce as concentrações de níquel total variaram de $<0,005$ a $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$ de agosto/2017 a janeiro/2018, não sendo observados valores de níquel total acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,025 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-40a e Figura 6-40b**).

Figura 6-40a - Resultados de níquel total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.

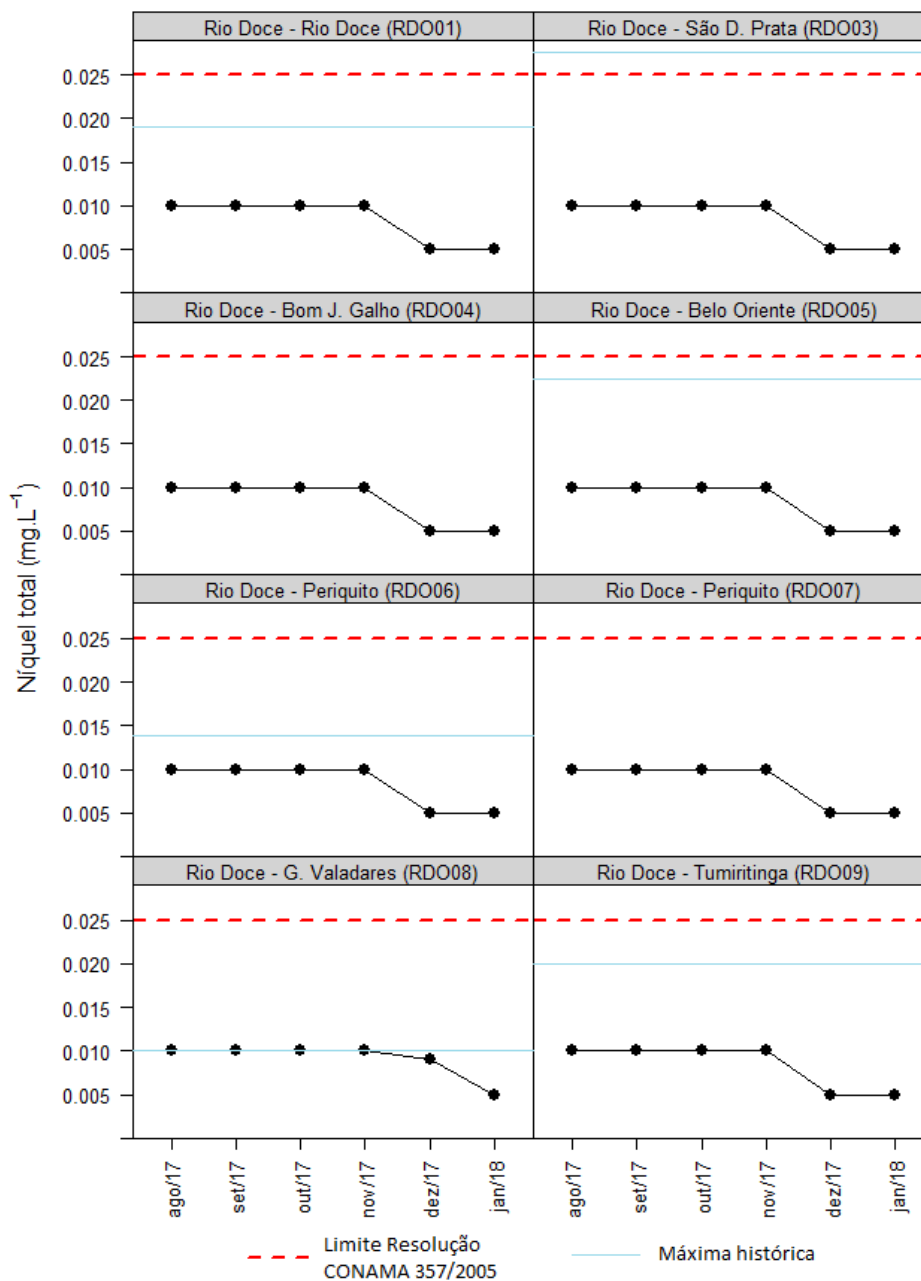
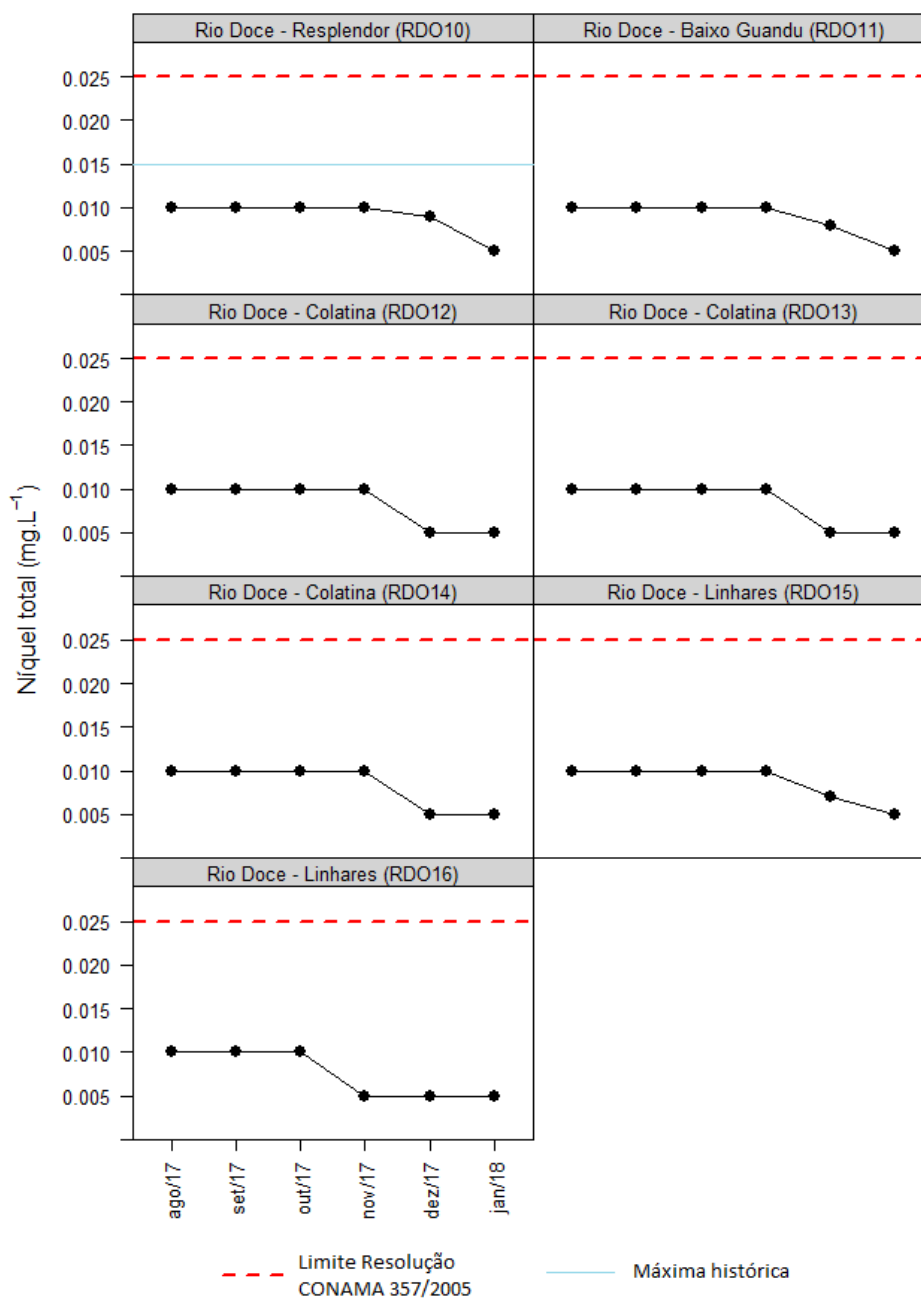


Figura 6-40b - Resultados de níquel total de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

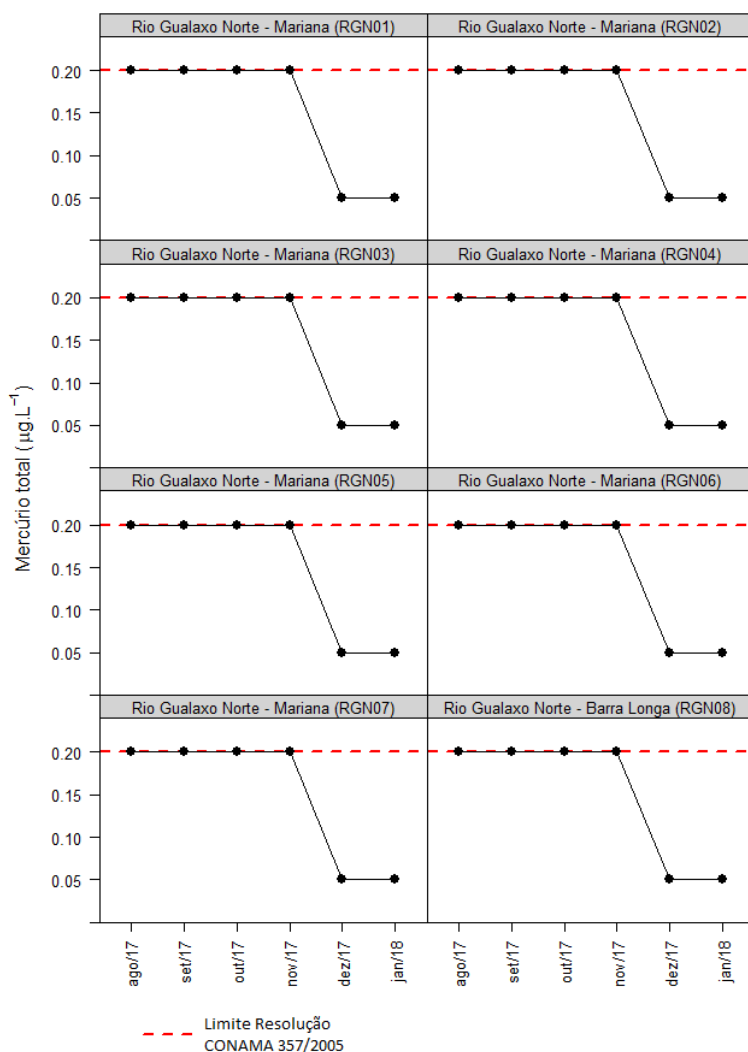


6.6.10 - Mercúrio total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de mercúrio total nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte ficaram abaixo do LQ (0,2 µg/L de agosto a novembro/2017 e 0,05 µg/L em dezembro/2017 e janeiro/2018) (**Figura 6-41**).

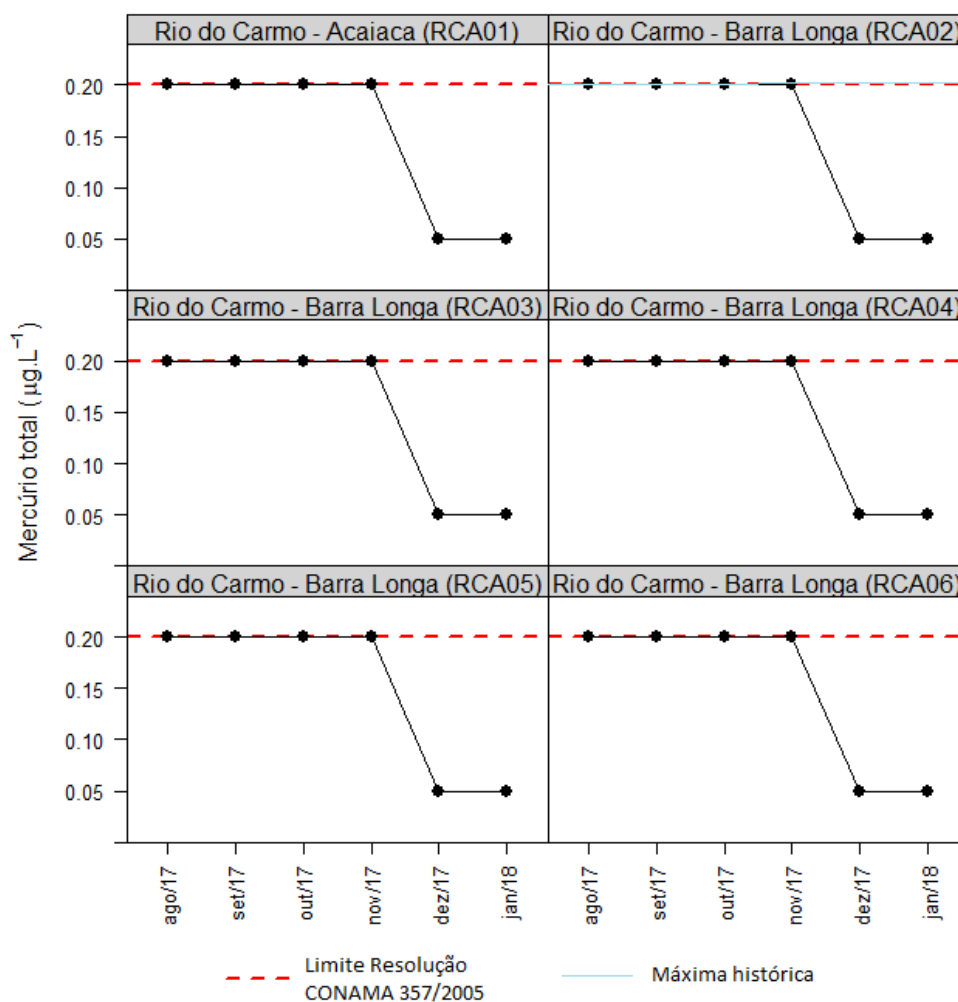
Figura 6-41 - Resultados de mercúrio total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

Resultados semelhantes foram observados para os pontos localizados no rio do Carmo com concentrações de mercúrio abaixo do LQ para o período de amostragem (0,2 µg/L de agosto a novembro/2017 e 0,05 µg/L em dezembro/2017 e janeiro/2018) (**Figura 6-41**).

Figura 6-42 - Resultados de mercúrio total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As amostras dos pontos localizados no rio Doce seguiram o mesmo padrão observado para dos rios Gualaxo do Norte e do Carmo, com valores de mercúrio total abaixo do LQ (0,2 µg/L de agosto a novembro/2017 e 0,05 µg/L em dezembro/2017 e janeiro/2018) (Figura 6-43a e Figura 6-43b).

Figura 6-43a - Resultados de mercúrio total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

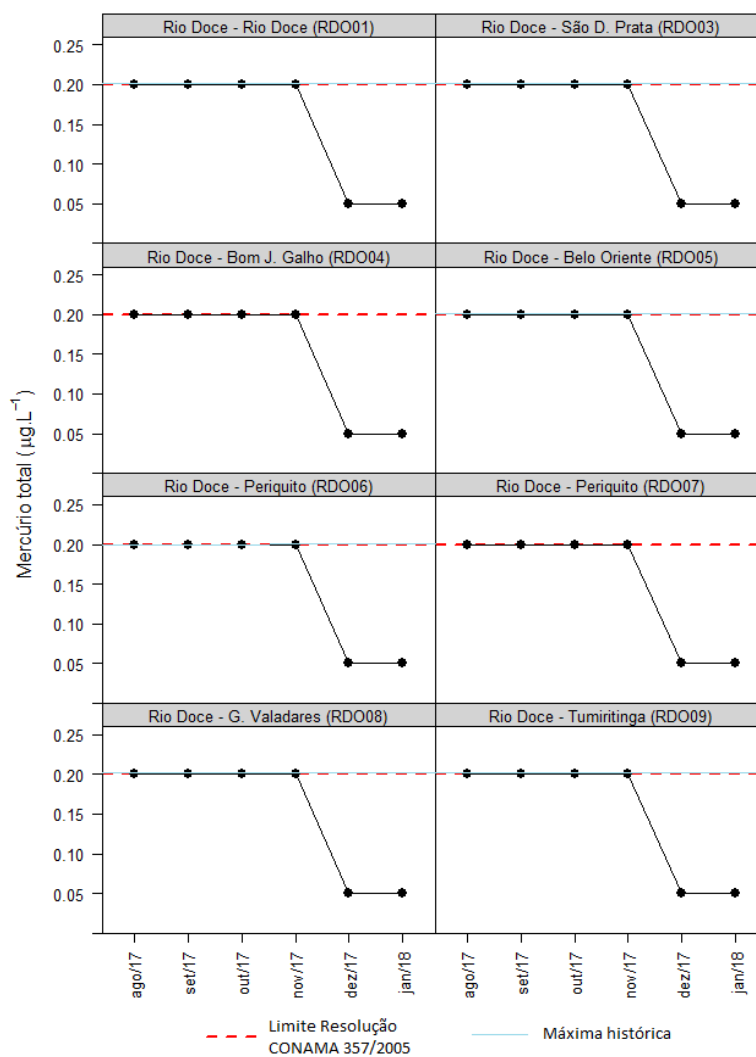
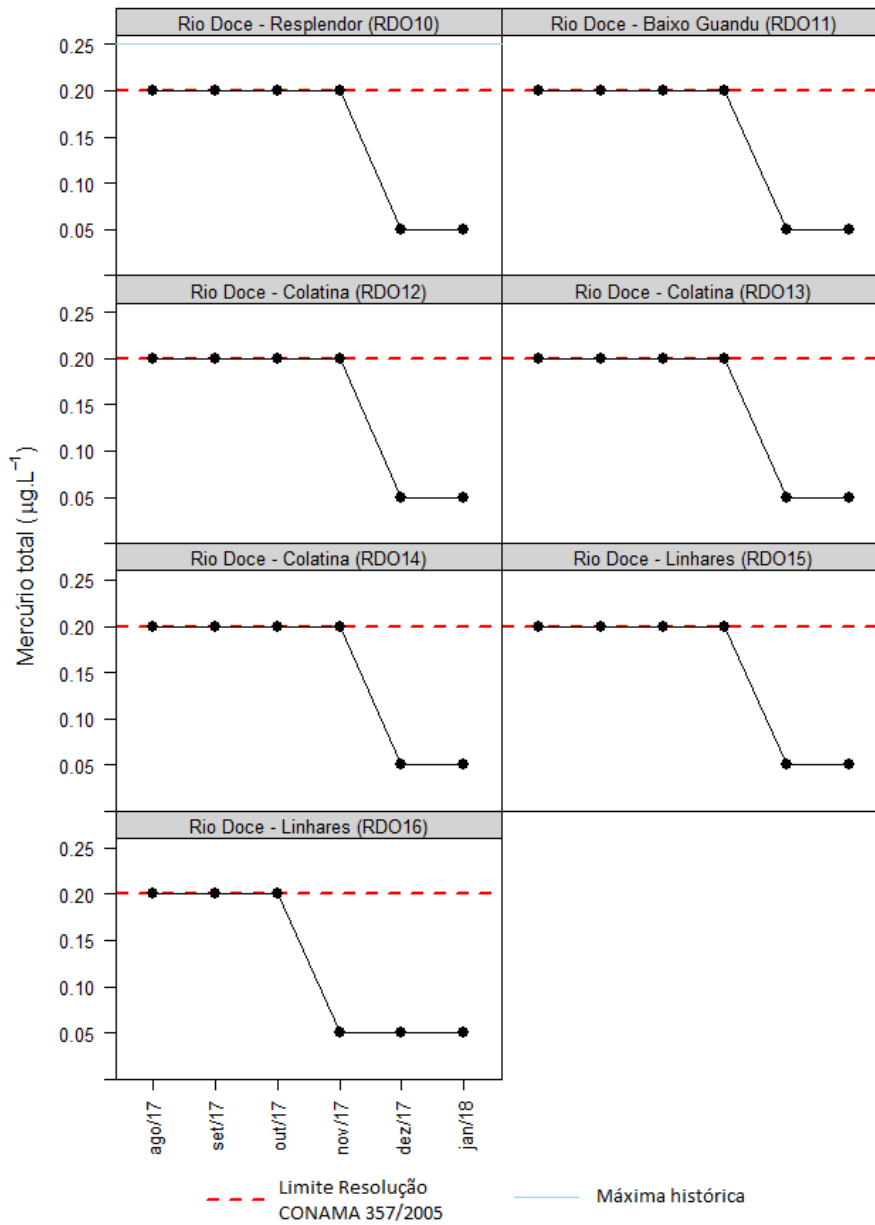


Figura 6-43b - Resultados de mercúrio total de sete pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO SISTEMÁTICO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DA FUNDAÇÃO RENOVA - PMQQS

Relatório Parcial

3474-01-MQA-RL-0001-00

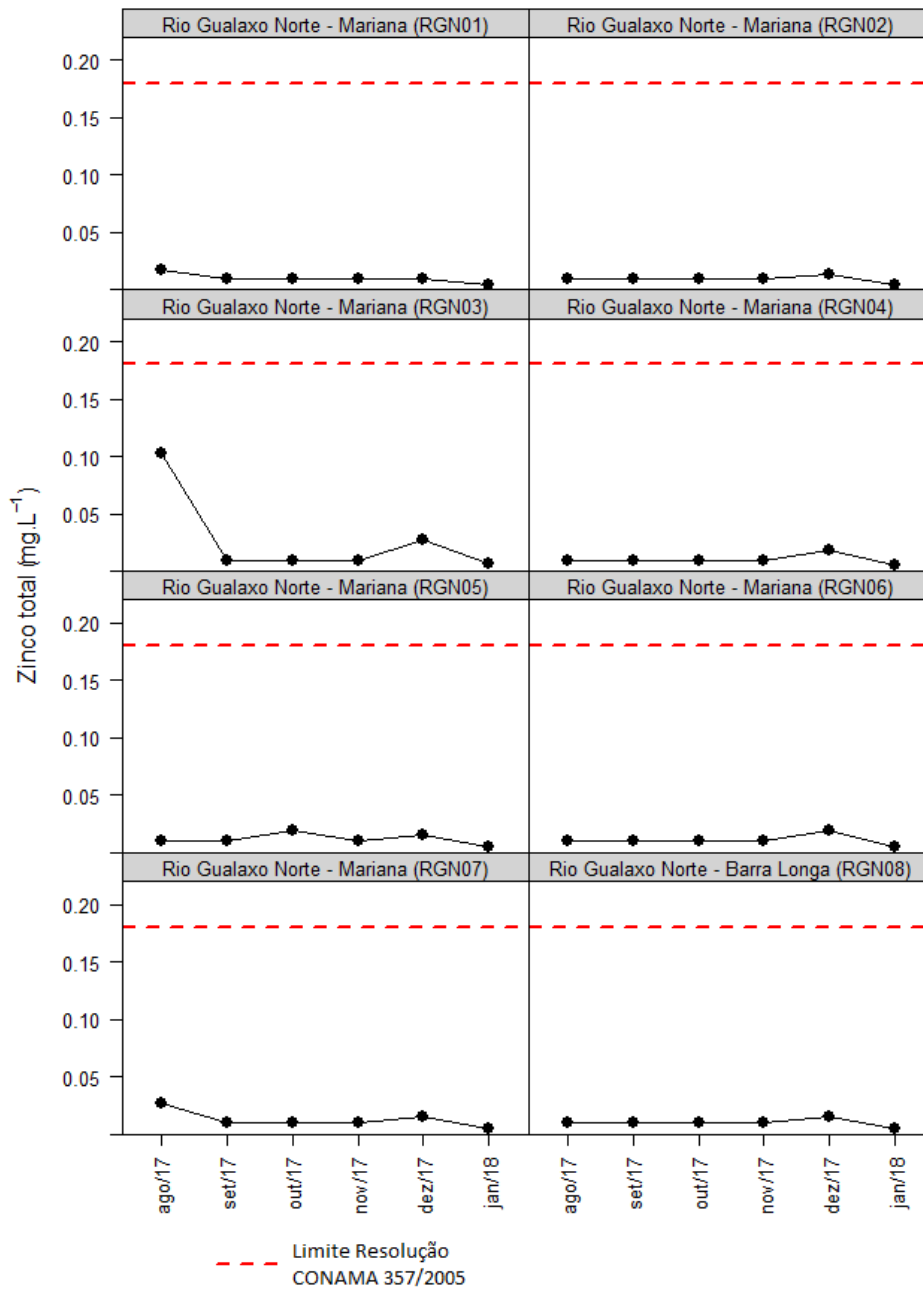


6.6.11 - Zinco total

Rio Gualaxo do Norte

As concentrações de zinco total nos oito pontos do rio Gualaxo do Norte, variaram de $<0,005$ a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$. Entre agosto/2017 e janeiro/2018 não foram observados valores de zinco total acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 ($0,18 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-44**).

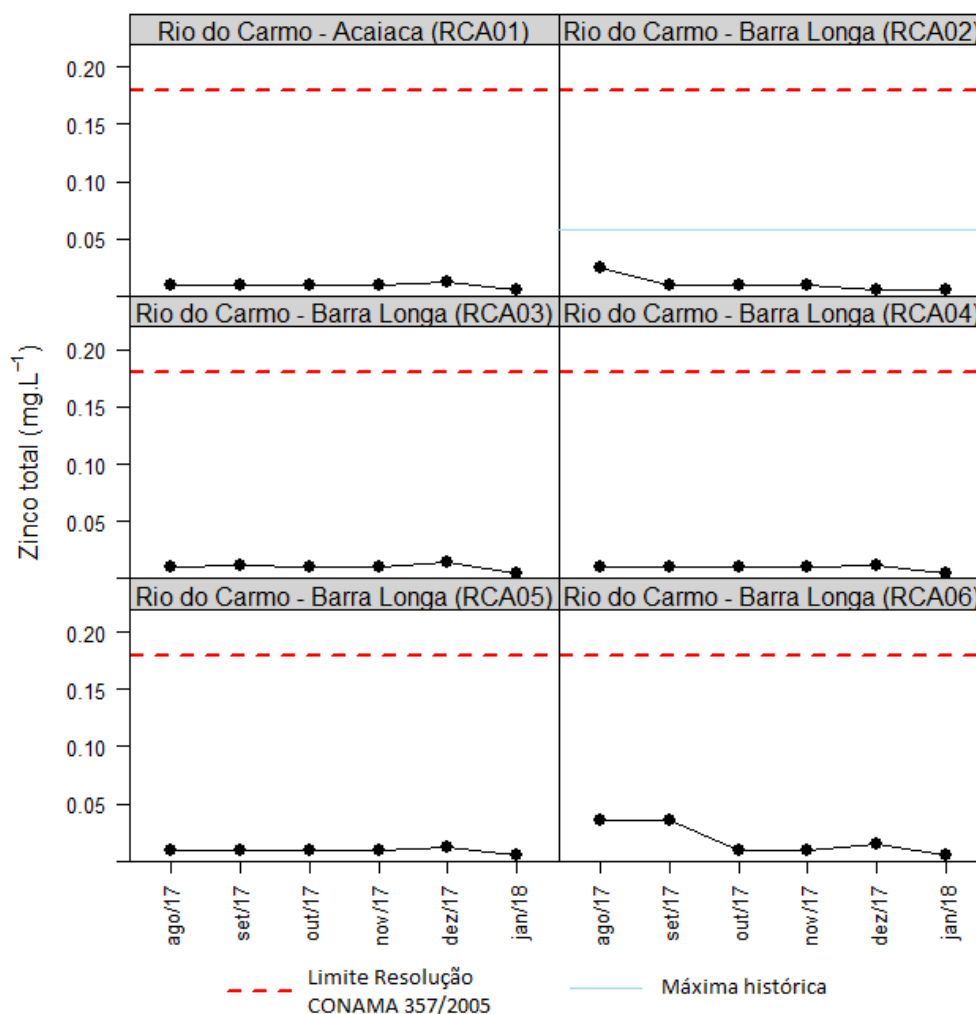
Figura 6-44 - Resultados de zinco total de oito pontos no rio Gualaxo do Norte, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio do Carmo

As concentrações de zinco total em seis pontos do rio do Carmo, variaram de <math><0,005</math> a $0,036$ mg.L⁻¹. Entre agosto/2017 e janeiro/2018 não foram observados valores de zinco total maiores do que o preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 (0,18 mg.L⁻¹) (Figura 6-45).

Figura 6-45 - Resultados de zinco total de seis pontos no rio do Carmo, de agosto/2017 a janeiro/2018.



Rio Doce

As concentrações de zinco total para os pontos de amostragem localizados no rio Doce variaram de $<0,005$ a $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Apenas RDO07 (Periquito, MG) em dezembro/2017 apresentou concentração de zinco total acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe 2 ($0,18 \text{ mg.L}^{-1}$) (**Figura 6-46a** e **Figura 6-46b**).

Figura 6-46a - Resultados de zinco total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.

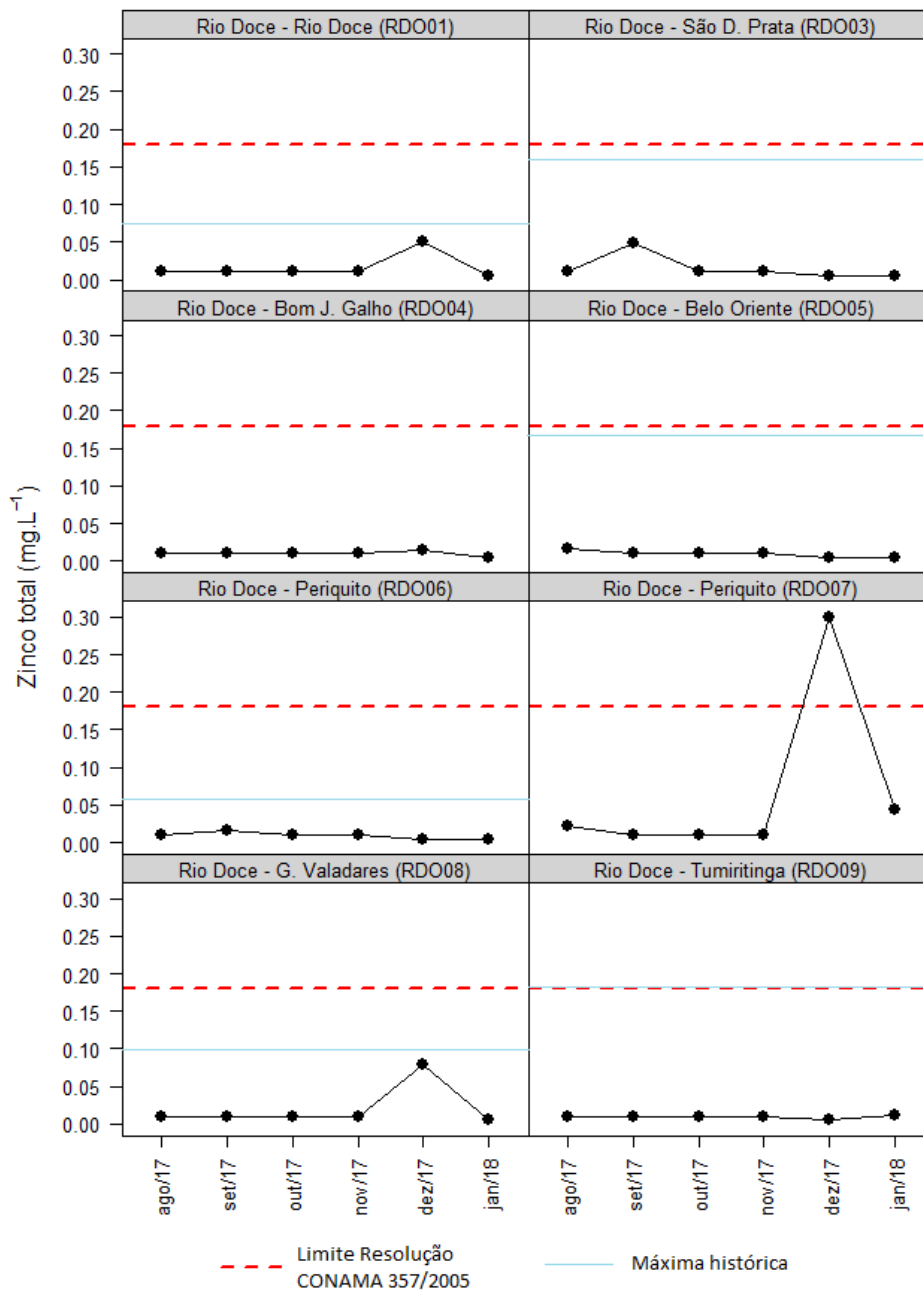
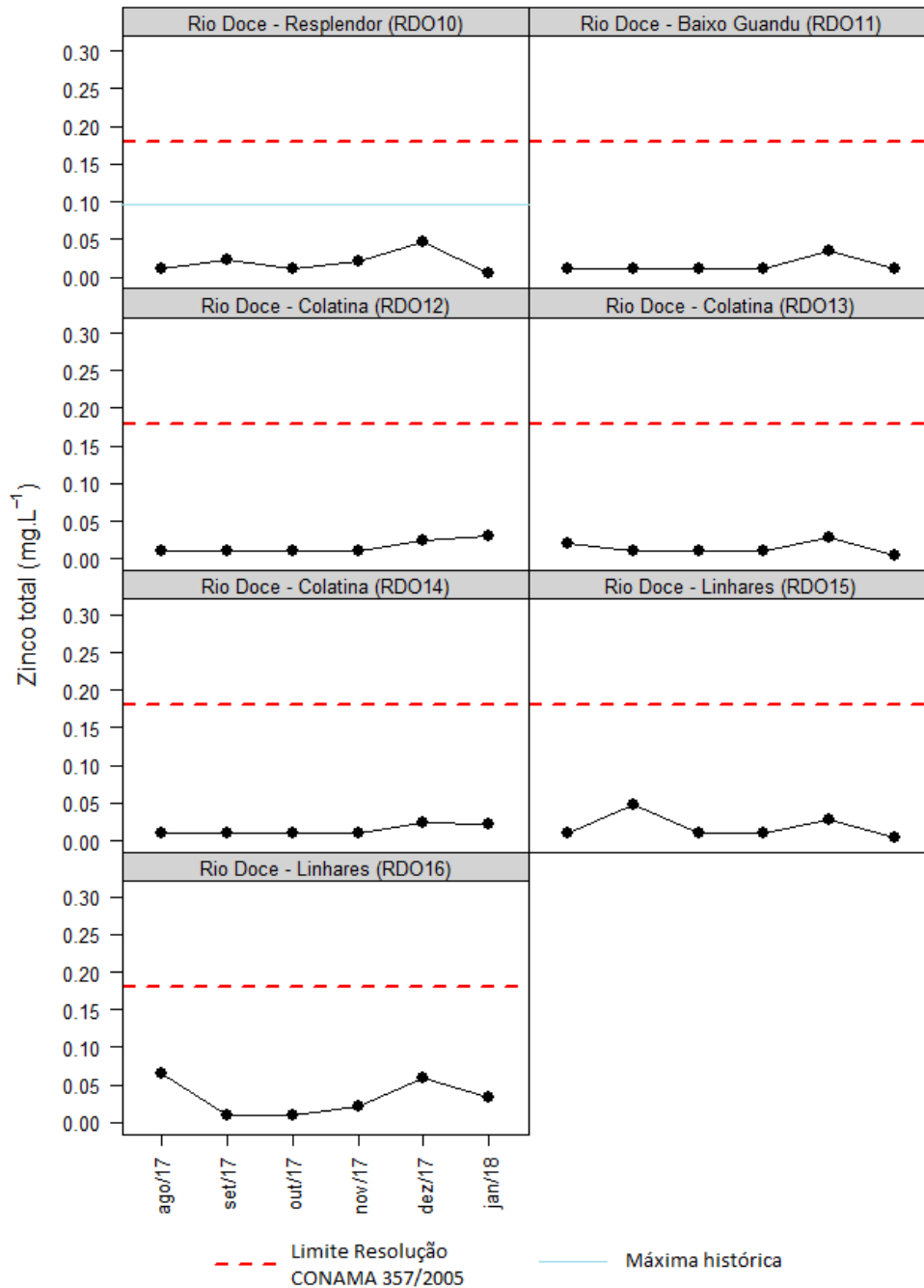


Figura 6-46b - Resultados de zinco total de oito pontos no rio Doce, de agosto/2017 a janeiro/2018.



7 - CONCLUSÕES

Nos três rios avaliados, Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, a turbidez da água e os sólidos suspensos totais mostraram um padrão de variação sazonal, com registro de maiores concentrações nos meses de novembro e dezembro/2017 e janeiro/2018, quando houve maior incidência de precipitação em toda a bacia do rio Doce. Já a condutividade elétrica indicou tendência temporal inversa ao padrão de turbidez e a concentração de sólidos suspensos totais, com registro de menores concentrações entre novembro/2017 a janeiro/2018. No caso dos metais, os elementos mercúrio total e cádmio total não foram quantificados em nenhuma das medições nos três rios avaliados; assim como o cobre dissolvido no rio Gualaxo do Norte e, em quase todos os pontos monitorados no rio do Carmo e no rio Doce. Em todos os três rios foram quantificadas concentrações de chumbo total nos meses de dezembro/2017 e janeiro/2018 e, níquel total apenas no mês de dezembro/2017, o que indica uma disponibilidade destes elementos na coluna d'água impulsionada pelo período de maior pluviosidade. Entre novembro/2017 a janeiro/2018, as concentrações de ferro dissolvido e manganês total foram maiores em todos os pontos e rios monitorados. Em contrapartida, para o zinco total e cromo total, maiores valores neste período foram mais evidenciados nos pontos do rio Doce e rio Gualaxo do Norte, do que no rio do Carmo. A confluência com o rio do Carmo pode ter proporcionado um efeito diluidor da concentração de sólidos suspensos totais transportados pelo rio Gualaxo do Norte.

Em relação ao atendimento à Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 e Resolução COPAM 01/2008, destaca-se que foram observadas violações para a turbidez nos meses de novembro/2017 a janeiro/2018 e, sólidos suspensos totais principalmente em dezembro/2017, sendo que não houve registro de valores em desacordo à Resolução COPAM 01/2008 para as estações do rio do Carmo, o que reforça o efeito diluidor neste rio.

Para os metais e metalóide, valores em desacordo ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2 foram observados para o ferro dissolvido e manganês total (rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce); alumínio dissolvido (rio do Carmo

e rio Doce); zinco total somente na estação RDO07 (rio Doce), arsênio total (rio Gualaxo do Norte) e chumbo total (rio Doce) entre os meses de novembro/2017 a janeiro/2018, indicando que ocorre transferência de contaminantes do ambiente terrestre para o ecossistema aquático adjacente.

Nenhum padrão de variação foi observado para o oxigênio dissolvido, mas, houve registros de concentrações inferiores ao limite mínimo (5 mg.L^{-1}) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2, principalmente no rio Doce.

Com base nos seis meses monitorados, pode-se concluir que existe uma tendência de variação sazonal para os parâmetros analisados, sendo o ecossistema terrestre adjacente uma fonte de material particulado em suspensão e contaminantes. Ainda que o rompimento da barragem de Fundão possa estar contribuindo para as elevadas concentrações de turbidez e sólidos suspensos totais registrados, mais dados de monitoramento serão necessários para melhor compreensão destes efeitos e sobre a recuperação dos rios afetados pelo rejeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association (APHA). 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition. Washington, DC, USA. 2012.

ANA, Agência Nacional de Águas. Encarte Especial Sobre a Bacia do Rio Doce-Rompimento da Barragem em Mariana MG. (Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR/Ministério de Meio Ambiente, Brasília DF), 2016.

ANA, Agência Nacional de Águas. Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste: sinopse de informações do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Sergipe. Brasília: ANA, 2001. (Série: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – Documentos).

CONSERVATION INTERNATIONAL. Planejando paisagens sustentáveis: a Mata Atlântica Brasileira. Conservation International & Instituto de Estudos Sócio-Ambientais do Sul da Bahia. 28 p, 2000.

Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (CERH-MG). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH no. 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário do Executivo “Minas Gerais”, 20/05/2008.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Resolução. 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Fitoplâncton de água doce: métodos qualitativos e quantitativo – Método de ensaio. São Paulo. Norma Técnica L5. 303. 23p. 2005.

DIJKSTRA, J. J.; MEEUSSEN, J. C. L. & COMANS, R. N. J.. Environmental Science & Technology 38 (16), 4390-4395, 2004. DOI: 10.1021/es049885v; 2004

ESPINDOLA, H. S. Sertão do rio Doce. EDUSC, Bauru, SP, 485 p; 2005.

LEINZ, V. & AMARAL, S. E. DO. Geologia Geral 7 ed., Ed. Nacional, São Paulo 397 p; 1978.

LOPES, L. M. N.. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. Sinapse Múltipla, v. 5, n. 1, p. 1; 2016.

SALOMONS, W & FORSTNER, U. Metal in the Hydrocycle (cap 2 5-58) 2 ed, Springer-Vergala, Berlin, 486p; 1984.