

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE FATORES INTERVENIENTES
NA FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS EM
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA:ESTUDO DE CASO NA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE - MG

Leonardo Augusto dos Santos

Belo Horizonte

2013

**AVALIAÇÃO DE FATORES INTERVENIENTES NA
FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS EM SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE - MG**

Leonardo Augusto dos Santos

Leonardo Augusto dos Santos

**AVALIAÇÃO DE FATORES INTEVENIENTES NA
FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS EM SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO
NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Qualidade e tratamento de água para consumo humano

Orientador: Prof. Valter Lúcio de Pádua

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2013

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, pela constante presença em minha vida, minha eterna gratidão.

À minha mãe Lucinda pelo amor, exemplo e paciência.

À minha irmã Katherine pelo carinho, companheirismo e compreensão.

Ao meu padrasto Ademar pela disciplina.

À Antônia pela alegria e amor incondicional, principalmente por me acalmar nos dias de tensão.

Ao meu orientador Valter Lúcio de Pádua pelo constante apoio, pela confiança, amizade, compreensão, exemplo e especialmente pelos ensinamentos.

À bolsista Joice pela seriedade nas atividades desenvolvidas e apoio... sem você tudo seria mais difícil.

À COPASA pelo fornecimento das amostras e realização das análises de quantificação dos subprodutos, em especial ao Adilson e toda sua equipe pela disponibilidade.

Aos funcionários do DESA e aos professores.

À SANAG na pessoa do José Celso e à CONCREMAT, nas pessoas da Livia e do Vinício pela experiência de aprendizado e o reconhecimento da importância da ciência.

Ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG pela oportunidade.

À minha amada Danusa que perpassa por todos estes cenários de meu convívio estando sempre ao meu lado.

Àqueles que porventura não foram citados e de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a concentração de trihalometanos na água destinada ao consumo humano a partir da análise de dez sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a considerar, sistemas que contam com captação em manancial lótico e manancial lêntico, com estações de tratamento de água (ETAs) de grande, médio e pequeno porte, com referência na vazão. As amostras de água bruta e tratada foram coletadas com frequência quinzenal no período de outubro/2012 a abril/2013. A caracterização da água bruta foi realizada através dos parâmetros físico-químicos pH, temperatura, turbidez, cor aparente e carbono orgânico total (COT). Na água tratada foram coletadas duas amostras na saída da ETA (AT) para caracterização dos trihalometanos, sendo que uma das amostras era utilizada na simulação da ponta de rede do sistema de distribuição (RD), se valendo do tempo de contato de 24 h, sendo os trihalometanos quantificados por cromatografia CG-MS “*Purge and trap*”. As matrizes de correlação de Spearman, por meio das quais se investigou as correlações entre o potencial de formação de trihalometanos e as variáveis que influenciam na sua formação, indicaram que os parâmetros monitorados (pH, temperatura, turbidez, cor aparente e COT), frequentemente não apresentaram coeficientes de correlação estatisticamente significativos com o potencial de formação de trihalometanos. O PFTHM de todos os sistemas foi maior do que a concentração amostrada em AT e RD, ressaltando que o tempo de contato aumentou a formação de THM conforme se percebe na comparação entre as amostras AT e RD. Entre os trihalometanos quantificados, o clorofórmio foi o que apresentou maior concentração em todas as amostragens. O PFTHM foi verificado em concentrações superiores ao valor máximo permitido no atual padrão de potabilidade brasileiro, de 0,1 mg/L, nos sistemas Brumadinho, Rio das Velhas, Vargem das Flores e Florestal. Para as amostras de AT e RD nenhum dos sistemas teve concentrações acima do limite da Portaria 2914/2011.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the concentration of trihalomethane in finished drinking water, from the analysis of ten water supply systems in the metropolitan region of Belo Horizonte (RMBH) to consider systems that rely on catchment water source in river or reservoir with water treatment plant (WTP) large, medium and small, with the reference flow. The raw and treated water samples were collected fortnightly for the period from October/2012 to April/2013. Characterization of raw water was carried through the physicochemical parameters pH, temperature, turbidity, apparent color and total organic carbon (TOC). Then, the raw water was used in the trihalomethane potential formation (THMPF) test. In the treated water were collected two samples at the output of the ETA (AT) for the characterization of trihalomethanes, and one of the samples were used in the simulation of the edge network distribution system (RD), taking advantage of the contact time of 24 hours, trihalomethanes being quantified by GC - MS chromatography "purge and trap". The Spearman correlation matrices, by means of which we investigated the correlations between trihalomethane formation potential and the variables that influence their formation, indicated that the monitored parameters (pH, temperature, turbidity, apparent color and TOC) often showed no statistically significant correlation coefficients with the potential formation of trihalomethanes. The PFTHM in all systems was greater than the concentration sampled AT and RD, noting that the contact time increased the formation of THM as can be seen in comparison between the samples AT and RD. Among the quantified trihalomethanes, chloroform showed the highest concentration in all samples. The PFTHM was observed at concentrations higher than the maximum value allowed in the current Brazilian potability standard of 0.1 mg/L, the systems Brumadinho, Rio das Velhas, Vargem das Flores and Florestal. For samples of AT and RD none of the systems had concentrations above the limit of Ordinance 2914/2011.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
3.1 CLORAÇÃO E FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS	5
3.2 FATORES DE INFLUÊNCIA NA FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO.....	8
3.2.1 <i>Características e concentração da matéria orgânica natural</i>	9
3.2.2 <i>Tempo de contato</i>	11
3.2.3 <i>Formação em relação a concentração dos precursores</i>	12
3.2.4 <i>pH do meio</i>	13
3.2.5 <i>Dosagem de cloro</i>	13
3.2.6 <i>Concentração de brometos</i>	14
3.3 EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE	15
3.4 CONTROLE DA FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO	15
4 MÉTODOS.....	17
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO	17
4.2 AMOSTRAGEM	20
4.3 MÉTODOS DE ANÁLISES.....	21
4.3.1 <i>Caracterização físico-química da água bruta</i>	21
4.3.2 <i>Ensaio do potencial de formação de trialometanos</i>	22
4.3.3 <i>Quantificação dos trialometanos</i>	23
4.4 TRATAMENTO DOS DADOS.....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA BRUTA POR SISTEMA	27
5.1.1 <i>Sistema Rio Manso</i>	27
5.1.2 <i>Sistema Serra Azul</i>	30
5.1.3 <i>Sistema Vargem das Flores</i>	32
5.1.4 <i>Sistema Morro Redondo</i>	35
5.1.5 <i>Sistema Rio das Velhas</i>	37
5.1.6 <i>Sistema Águas Claras</i>	40
5.1.7 <i>Sistema Ibitité</i>	42
5.1.8 <i>Sistema Brumadinho</i>	44
5.1.9 <i>Sistema Igarapé</i>	47
5.1.10 <i>Sistema Florestal</i>	49
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA BRUTA POR PARÂMETRO	51
5.3 FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS POR SISTEMA.....	57
5.3.1 <i>Sistema Rio Manso</i>	57
5.3.2 <i>Sistema Serra Azul</i>	59
5.3.3 <i>Sistema Vargem das Flores</i>	60
5.3.4 <i>Sistema Morro Redondo</i>	61
5.3.5 <i>Sistema Rio das Velhas</i>	62
5.3.6 <i>Sistema Águas Claras</i>	63
5.3.7 <i>Sistema Ibitité</i>	64
5.3.8 <i>Sistema Brumadinho</i>	65
5.3.9 <i>Sistema Igarapé</i>	66
5.3.10 <i>Sistema Florestal</i>	67
5.4 FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS POR AMOSTRAS	68
5.5 FATORES DE INFLUÊNCIA DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS (PFTHM)	72

6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE 1 – SISTEMA RIO MANSO	81
	APÊNDICE 2 – SISTEMA SERRA AZUL	82
	APÊNDICE 3 – SISTEMA VARGEM DAS FLORES	83
	APÊNDICE 4 – SISTEMA MORRO REDONDO	84
	APÊNDICE 5 – SISTEMA RIO DAS VELHAS	85
	APÊNDICE 6 – SISTEMA ÁGUAS CLARAS	86
	APÊNDICE 7 – SISTEMA IBIRITÉ	87
	APÊNDICE 8 – SISTEMA BRUMADINHO	88
	APÊNDICE 9 – SISTEMA IGARAPÉ	89
	APÊNDICE 10 – SISTEMA FLORESTAL	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Efeito da concentração de ácidos húmicos.....	10
Figura 3.2 – Efeito do tempo de contato na formação de THMs.	12
Figura 3.3 - Efeito do tempo de contato na formação de THMs.....	13
Figura 3.4 - Efeito da dosagem de cloro na formação de trialometano.	14
Figura 4.1 - Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG e sistemas de abastecimento de água em estudo.	17
Figura 4.2 - Precipitações e temperaturas médias da RMBH no período de 2000 a 2011.	18
Figura 4.3 - Pontos representativos de amostragem da água bruta e tratada.	20
Figura 4.4 - Fluxograma dos procedimentos das análises.....	24
Figura 5.1 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Rio Manso.....	28
Figura 5.2 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Rio Manso.	28
Figura 5.3 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Rio Manso.....	28
Figura 5.4 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Rio Manso.	29
Figura 5.5 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Rio Manso.	29
Figura 5.6 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.....	30
Figura 5.7 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.....	31
Figura 5.8 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.....	31
Figura 5.9 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.....	31
Figura 5.10 - Gráfico temporal dos valores de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.....	32
Figura 5.11 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Vargem das Flores.....	33
Figura 5.12 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Vargem das Flores.	33
Figura 5.13 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Vargem das Flores.	34
Figura 5.14 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Vargem das Flores.	34
Figura 5.15 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Vargem das Flores.....	34
Figura 5.16 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Morro Redondo.	36
Figura 5.17 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Morro Redondo.....	36
Figura 5.18 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Morro Redondo.....	36
Figura 5.19 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Morro Redondo.....	37
Figura 5.20 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Morro Redondo.....	37

Figura 5.21 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Rio das Velhas.....	38
Figura 5.22 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema das Velhas.....	38
Figura 5.23 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Rio das Velhas.....	39
Figura 5.24 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluyente ao das Velhas.....	39
Figura 5.25 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Rio das Velhas.	39
Figura 5.26 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Águas Claras.	40
Figura 5.27 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Águas Claras.....	41
Figura 5.28 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Águas Claras.....	41
Figura 5.29 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Águas Claras.....	41
Figura 5.30 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Águas Claras.....	42
Figura 5.31 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.	43
Figura 5.32 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.....	43
Figura 5.33 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.....	43
Figura 5.34 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.....	44
Figura 5.35 - Gráfico temporal dos valores de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.	44
Figura 5.36 - Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Brumadinho.....	45
Figura 5.37 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Brumadinho.....	45
Figura 5.38 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Brumadinho.....	46
Figura 5.39 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Brumadinho.....	46
Figura 5.40 - Gráfico temporal dos valores de concentração de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Brumadinho.	46
Figura 5.41 - Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.	47
Figura 5.42 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.....	48
Figura 5.43 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.....	48
Figura 5.44 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema	48
Figura 5.45 - Gráfico temporal dos valores de concentração de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.....	49

Figura 5.46 - Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.	50
Figura 5.47 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.	50
Figura 5.48 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.	50
Figura 5.49 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.	51
Figura 5.50 - Gráfico temporal dos valores de concentração de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.	51
Figura 5.51 - Gráfico <i>Box-whisker</i> do pH da água bruta afluyente aos sistemas de abastecimento da RMBH.	52
Figura 5.52 - Gráfico <i>Box-whisker</i> da temperatura da água bruta afluyente aos sistemas de abastecimento da RMBH.	53
Figura 5.53 - Gráfico <i>Box-whisker</i> da turbidez da água bruta afluyente aos sistemas de abastecimento da RMBH.	54
Figura 5.54 - Gráfico <i>Box-whisker</i> da cor aparente da água bruta afluyente aos sistemas de abastecimento da RMBH.	55
Figura 5.55 - Gráfico <i>Box-whisker</i> do COT da água bruta afluyente aos sistemas de abastecimento da RMBH.	56
Figura 5.56 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio Manso.	58
Figura 5.57 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Serra Azul.	59
Figura 5.58 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Vargem das Flores.	60
Figura 5.59 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Morro Redondo.	61
Figura 5.60 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio das Velhas.	62
Figura 5.61 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Águas Claras.	63
Figura 5.62 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Ibirité.	64
Figura 5.63 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Brumadinho.	65
Figura 5.64 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Igarapé.	66
Figura 5.65 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Florestal.	67

Figura 5.66 - Gráfico <i>Box-whisker</i> dos THM totais do Potencial de Formação de THM (PFTHM) dos sistemas de abastecimento da RMBH.	68
Figura 5.67 - Gráfico <i>Box-whisker</i> dos THM totais das amostras na saída da ETA (AT) dos sistemas de abastecimento da RMBH.	70
Figura 5.68 - Gráfico <i>Box-whisker</i> dos THM totais das amostras de simulação da rede de distribuição (RD) dos sistemas de abastecimento da RMBH.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Reações de produção do cloro gasoso a partir da eletrólise aquosa do NaCl.	5
Tabela 4.1- Precipitação média da RMBH no período de estudo.	19
Tabela 4.2 - Sistema de Produção de água estudados.....	19
Tabela 4.3 - Parâmetros monitorados e métodos analíticos utilizados.	22
Tabela 5.1 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Rio Manso.	27
Tabela 5.2 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Serra Azul.	30
Tabela 5.3 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Vargem das Flores.	33
Tabela 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Morro Redondo.	35
Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Rio das Velhas.....	38
Tabela 5.6 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Águas Claras.	40
Tabela 5.7 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Ibirité.	42
Tabela 5.8 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta - Sistema Brumadinho.	45
Tabela 5.9 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta - Sistema Igarapé.....	47
Tabela 5.10 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta - Sistema Florestal.....	49
Tabela 5.11 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio Manso.	58
Tabela 5.12 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Serra Azul.	59
Tabela 5.13 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Vargem das Flores.....	60
Tabela 5.14 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Morro Redondo.	61
Tabela 5.15 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio das Velhas.....	62
Tabela 5.16 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Águas Claras.	63
Tabela 5.17 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Ibirité.....	64
Tabela 5.18 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Brumadinho.....	65

Tabela 5.19 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Igarapé.	66
Tabela 5.20 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) – Sistema Florestal.....	67
Tabela 5.21 - Matriz de correlação de Spearman para amostragens do potencial de formação de trialometanos (PFTHM).	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Principais subprodutos decorrentes da cloração da água.....	6
--	---

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AB	Água bruta
AHA	Ácido haloacético
AHA5	Concentração total de cinco ácidos acéticos clorados (ácido monocloroacético, ácido monobromoacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético e ácido dibromoacético)
APHA	American Public Health Association
AT	Água tratada, coletada na saída da estação de tratamento de água
CG	Cromatógrafo a gás
COD	Carbono orgânico dissolvido
COT	Carbono orgânico total
DPD	N,N-dietil-p-fenilenediamina
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
Mn	Manganês
MON	Matéria orgânica natural
MS	Ministério da Saúde
pH	Potencial hidrogeniônico
SUVA	Absorbância específica ultravioleta
THM	Trihalometano
uH	Unidade de cor
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
USEPA	United States Environmental Protection Agency
uT	Unidade de turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido
VG	Valor Guia
VGP	Valores Guias Provisórios
WHO	World Health Organization

1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade de se fornecer à população água isenta de contaminação microbiológica, a etapa de desinfecção com cloro é amplamente empregada nos processos de potabilização em estações de tratamento de água (ETA). Tal necessidade remonta à constatação efetuada em 1854 pelo médico inglês John Snow – comprovando empiricamente a relação entre a água consumida e os surtos de cólera – e que numa tentativa de sanear um poço de abastecimento público de água em *Broad Street* – Londres, se valeu do uso do cloro perante à contaminação do poço por esgotos (JOHNSON, 2008).

Desde então, o cloro tem sido empregado em processos de desinfecção, tanto em águas destinadas ao consumo humano quanto para os esgotos. As vantagens do uso do cloro vão além da minimização de doenças de veiculação hídrica, pois atua na inativação de microorganismos presentes nas águas naturais em tempo relativamente curto, não é tóxico aos seres humanos, não confere sabor e odor às águas nas dosagens usualmente empregadas na desinfecção e, entre outras razões, apresenta baixo custo relativo (WHO, 2004).

No entanto, a reação do cloro residual livre com alguns compostos orgânicos naturais acarreta a formação de subprodutos indesejáveis, notadamente os subprodutos da cloração, que começaram a ganhar notoriedade a partir de estudos na Holanda e nos Estados Unidos (ROOK, 1974; BELLAR *et al.*, 1974), quando os mesmos demonstraram que os trialometanos (THMs), classe de subprodutos associada a efeitos carcinogênicos em animais, advinha da aplicação de cloro e de sua reação com a matéria orgânica presente em água para abastecimento público.

Os estudos que se seguiram iam ao encontro dos resultados já obtidos e revelavam ainda que havia associação entre a exposição a trialometanos e complicações na gravidez, tais como má formação fetal, aborto, parto prematuro (NIEUWENHUIJSEN *et al.*, 2000; PORTER *et al.*, 2005; SANTOS e GOUVEIA, 2011).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) propôs, em 1978, o limite máximo permissível de 0,1 mg/L de trialometanos nas águas de abastecimento. Embora não existissem comprovações de que esses compostos pudessem ser nocivos à saúde humana, o limite foi proposto com objetivos preventivos. Em 1979, o limite máximo de 0,1 mg/L foi

regulado, apesar das evidências de carcinogenicidade terem sido obtidas apenas em estudos com animais (MEYER, 1994).

Comparando-se a legislação de alguns países em relação ao valor máximo permitido de trialometanos, que é uma das classes dos subprodutos da desinfecção das mais bem estudadas, podem ser observadas diferenças significativas: enquanto nos Estados Unidos o padrão de potabilidade atual para trialometanos total é de 0,08 mg/L (USEPA, 2009), no Canadá esse padrão é de 0,1 mg/L (CANADÁ, 2008), no México é de 0,2 mg/L (MÉXICO, 2000), na Alemanha é de 0,05 mg/L (ALEMANHA, 2001) e na França, desde de dezembro de 2008 há recomendação de que o valor não ultrapasse a 0,1 mg/L (MOULY, 2010). No Brasil, o valor máximo permitido para esse parâmetro é de 0,1 mg/L, conforme a Portaria do Ministério da Saúde n°. 2914/2011 (BRASIL, 2011).

A grande variação dos limites máximos estabelecidos nos diversos países, de certo modo indica o desconhecimento do potencial tóxico real desses compostos. Outro fator que corrobora para tal variação ao longo dos anos, diz respeito à limitação de ordem analítica em termos de determinação e quantificação dos compostos (FERREIRA FILHO, 2001).

No Brasil, os primeiros estudos sobre subprodutos da cloração principiaram-se ao final da década de 1970 e início dos anos 80, avaliando a ocorrência de trialometanos em sistemas públicos de abastecimento da cidade de São Paulo (MACÊDO *et al.*, 2002). Entretanto, somente a partir de 1990, pela Portaria n.º 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde, ficou estabelecido que o valor máximo permitido (VMP) era 100 µg/L¹ (BRASIL, 1990), valor este que se mantém até a atual portaria, a 2914/2011.

Passadas pouco mais de duas décadas, a portaria brasileira incluiu a classe dos ácidos haloacéticos (AHA) com VMP de 0,08 mg/L (BRASIL, 2011), que junto com os trialometanos, representam os subprodutos da cloração que ocorrem em maior frequência em águas de abastecimento. No entanto destaca-se que existem poucos trabalhos no Brasil sobre o tema subprodutos da cloração, havendo deste modo uma necessidade de gerar informações específicas para as condições brasileiras.

¹ Os valores descritos no texto ora em mg/L e ora em µg/L seguem a maneira como os mesmos foram citados nos textos originais.

Cabe ressaltar que a implementação de métodos analíticos para quantificação dos diversos subprodutos indesejáveis da cloração é necessária no estado de Minas Gerais, visto que ainda inexistem laboratórios de vigilância da qualidade da água devidamente preparados para a determinação dos subprodutos, inclusive o de Belo Horizonte. Corroboram ainda para tal necessidade de implementação, a indicação de apenas um estudo realizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte por Alvarenga (2010), em que foram avaliados os compostos de trialometanos e ácidos haloacéticos.

Quanto ao processo de desinfecção, ainda que existam riscos à saúde humana causados pela reação do cloro com compostos orgânicos, a eficiência da etapa de cloração não deve ser comprometida na tentativa de se controlarem os subprodutos gerados. Para tanto, a importância do trabalho recai sobre a necessidade de se conhecerem as características dos mananciais, quanto ao potencial de formação de trialometanos e posterior direcionamento para a minimização dos subprodutos.

Este trabalho visa proceder a uma avaliação da formação de trialometanos na água destinada ao consumo humano, em sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) nos quais se têm sistemas produtores de responsabilidade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) valendo-se da caracterização dos mananciais (qualidade da água bruta e tipo de manancial superficial - lótico e lântico) e processos de cloração aplicados, durante o período compreendido entre outubro/2012 e abril/2013, sendo as amostras dos mananciais submetidas ao ensaio do potencial de formação de trialometanos, bem como análise de tais compostos em água bruta e tratada, na entrada e saída do tratamento, respectivamente, e também uma amostra que simula a ponta de rede do sistema de distribuição.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a formação de trihalometanos em sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

2.2 *Objetivos específicos*

- Avaliar a influência dos compostos orgânicos no potencial de formação de trihalometanos;
- Avaliar a influência do tipo de manancial do sistema de abastecimento de água na formação de trihalometano;
- Correlacionar o potencial de formação de trihalometanos da água bruta com os valores obtidos na quantificação destes na saída do tratamento e na rede de distribuição.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Esta revisão da literatura contextualiza a problemática da formação de trialometanos nos processos de cloração utilizados em ETAs, conceituando inicialmente esses subprodutos, abordando os principais fatores que afetam a sua geração e os efeitos adversos à saúde humana.

3.1 Cloração e formação de subprodutos

O cloro é um dos elementos químicos da família dos halogênios de número atômico 17, com massa atômica 35,5 g/mol. Na natureza não é encontrado como uma substância pura devido ao seu alto potencial reativo. Assim sendo, é encontrado apenas nas formas de cloreto e cloratos (RICHTER, 2009).

O cloro gasoso comercial pode ser obtido de várias formas, sendo que a principal delas é a partir da eletrólise aquosa de uma solução de cloreto de sódio. No catodo, o íon hidrônio é reduzido, formando o gás hidrogênio, e, no anodo, o íon cloreto é oxidado formando o gás cloro. As reações de formação dessas substâncias estão apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Reações de produção do cloro gasoso a partir da eletrólise aquosa do NaCl.

Eletrodo	Reação
Catodo	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
Anodo	$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

Entre os agentes de desinfecção, o cloro tem sido largamente utilizado por diversos fatores, dentre eles pode-se citar o preço, facilidade no manuseio, alta solubilidade e um residual de fácil detecção e que garante a qualidade da água por bom tempo em aspectos microbiológicos.

O cloro tem permitido melhora da qualidade de vida e diminuição da mortalidade infantil por doenças entéricas, com uma eficiência sem precedentes na história da humanidade. Os registros históricos mostram que a cloração possibilitou a redução de casos de cólera, disenteria e febre tifoide em todo o mundo (WHO, 2000).

Entretanto, pelo fato de se caracterizar com um forte oxidante, pode gerar subprodutos indesejados. Pode-se classificar estes subprodutos da cloração em compostos orgânicos

halogenados, sendo os principais destacados no Quadro 3. (USEPA, 1999; WHO, 2000; PASCHOALATO, 2005).

Quadro 3.1 – Principais subprodutos decorrentes da cloração da água.

Trialometas (THMs)	Clorofórmio bromodichlorometano dibromoclorometano Bromofórmio	CHCl ₃ CHBrCl ₂ CHBr ₂ Cl CHBr ₃
Ácidos Haloacéticos (HAAs)	ácido monocloraacético ácido dichloroaacético ácido trichloroaacético ácido monobromoaacético ácido dibromocloroaacético ácido tribromoaacético ácido bromocloroaacético ácido bromodichloroaacético ácido dibromocloroaacético	ClCH ₂ COOH Cl ₂ CHCOOH Cl ₃ CCOOH BrCH ₂ COOH Br ₂ CHCOOH Br ₃ CCOOH BrClCHCOOH BrCl ₂ CCOOH Br ₂ ClCCOOH
Haloacetoneitras (HANs)	dichloroaacetonitrila trichloroaacetonitrila dibromoaacetonitrila tribromoaacetonitrila bromocloroaacetonitrila	CHCl ₂ CN CCl ₃ CN CHBr ₂ CN CBr ₃ CN CHBrClCN
Haleto Cianogênicos (HCs)	cloro cianogênico bromo cianogênico	CNCl CNBr
Halopicrinas (HPs)	cloropicrina bromopicrina	CCl ₃ NO ₂ CBr ₃ NO ₂
Haloaldeidos (HADs)	dichloroaacetaldeído trichloroaacetaldeído	Cl ₂ CHCHO Cl ₃ CCHO
Haloacetonas	1,1-dichloroaacetonona 1,3-dichloroaacetonona	Cl ₂ CHCOCH ₃ ClCH ₂ COCH ₂ Cl
Halofenóis (HFs)	2-clorofenol 2,4-dichlorofenol 2,4,6-trichlorofenol	ClC ₆ H ₄ OH Cl ₂ C ₆ H ₃ OH Cl ₃ C ₆ H ₂ OH
Cloro hidrato	Cloro hidrato	Cl ₃ CCH(OH) ₂

Apesar de haver uma gama de compostos provenientes dos subprodutos da cloração, há regulamentação somente para trialometas e ácidos haloacéticos, sendo estes estipulados primeiramente nos EUA, com um nível máximo de 0,06 mg/L de ácidos haloacéticos totais (AHA5), que perfazem cinco compostos (USEPA, 1999). No Brasil o valor para ácidos haloacéticos foi estipulado em sua portaria mais recente, MS n°. 2914/2011, seguindo os valores dos guias provisórios da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2000), de 0,08 mg/L para um total de nove compostos (AHA9).

Em um estudo realizado pela EPA no qual foram analisadas amostras de água provenientes de 113 estações de tratamento, detectou-se a presença de 27 compostos orgânicos com possibilidade de serem causadores de doenças. Nessa relação de compostos, quatro trialometas (clorofórmio, bromodichlorometano, dibromoclorometano e bromofórmio)

foram considerados muito importantes, porque surgiram com elevada frequência em todas as pesquisas realizadas nas águas de abastecimento cloradas (MEYER, 1994).

É notório que as características da água bruta variam em função da sazonalidade e, tal qual, a ocorrência de subprodutos também apresenta variação. Assim, torna-se importante monitorá-los com o objetivo de minimizar sua formação.

Apesar de somente a classe dos trialometanos e dos ácidos haloacéticos serem regulamentados e se apresentarem em maior frequência, uma compilação de 30 anos de pesquisa, elaborada por Richardson (2007) apontou que os subprodutos não regulamentados, a citar; haloacetoneitrila, halopicrinas e halocetona, apresentam riscos potenciais para a saúde humana que são significativamente mais elevados do que aqueles associados com THMs e AHA. Entretanto pesquisas recentes realizadas na província de Quebec, no Canadá, têm apontado a classe dos trialometanos e ácidos haloacéticos como bons indicadores estatísticos (forte correlação) na variação espaço-temporal dos subprodutos não regulamentados, servindo assim como um parâmetro auxiliar, o que se supõe que com a ausência de THMs e AHAs, seja remota a possibilidade de ocorrência das classes não regulamentadas (SHANKS, 2013).

Estudos de Stevens e colaboradores (1976), nos Estados Unidos, mostraram que os trialometanos não ocorrem em níveis significativos na água bruta, mas são formados durante o processo de tratamento de água para o abastecimento público e na rede de distribuição, através de uma reação química entre alguns derivados de cloro e compostos orgânicos, especialmente os ácidos húmicos e fúlvicos (ROOK, 1977; TRUSSEL E UMPHRES, 1978), podendo levar à formação de subprodutos como o clorofórmio (CHCl_3), ácidos monocloroacético, dicloroacético e tricloroacético (ClAA , Cl_2AA e Cl_3AA , respectivamente). Se a água contém quantidades apreciáveis de brometo, o cloro poderá oxidá-lo a ácido hipobromoso, o qual reagirá com a matéria orgânica natural (MON) para produzir correlatos bromados dos subprodutos clorados, tal como o bromofórmio e ácidos aloacéticos (BrAA , Br_2AA , Br_3AA), dentre outros (SINGER, 1999).

Sob a ótica de um sistema de abastecimento de água, as reações de formação dos subprodutos da cloração podem acontecer nas estações de tratamento de água (ETAs) ou no sistema de distribuição. Ciente do mecanismo de formação destes subprodutos, é recomendável que a aplicação de cloro, sempre que possível, se dê somente após os processos de clarificação da

água, para que seja minorado o contato com substâncias precursoras ocasionalmente presentes na água bruta.

No Brasil, muitas ETAs realizam a pré-oxidação da água bruta, porém em muitos casos não se tem o monitoramento adequado dos subprodutos gerados. A aplicação prévia de cloro tem por intuito oxidar os compostos inorgânicos, como por exemplo ferro e manganês, prática muito comum que pode potencializar a formação dos subprodutos.

A captação de água em manancial superficial comprometido é um problema enfrentado em muitas ETAs, tendo em vista a degradação de corpos d'água devido a pressões antrópicas, como lançamento de efluentes domésticos e industriais, e/ou mesmo a poluição de origem difusa. A eutrofização de corpos d'água também pode acarretar em diversos problemas, como o aparecimento de gosto e odor, formação de subprodutos indesejados e interferências no tratamento da água.

Do ponto de vista de Trussell e Umphres (1978), a formação de trialometanos pode ocorrer em três fases. Na primeira fase ocorre a demanda imediata de cloro aplicado devido à oxidação de compostos inorgânicos como, por exemplo, sulfeto, ferro e amônia; esta reação vai consumir rapidamente uma determinada quantidade de cloro e os trialometanos formados são apenas traços. Na segunda fase, depois de satisfeita a demanda imediata, o cloro adicional começa a reagir com a matéria orgânica presente numa reação que tende à linearidade entre a dosagem de cloro e a concentração de trialometanos formados. Já na terceira fase, depois de satisfeitas as duas primeiras demandas, se houver um residual de cloro livre, ocorrerá pequena formação adicional de trialometanos.

3.2 Fatores de Influência na Formação de Subprodutos da Cloração

Um dos grandes desafios na pesquisa dos fatores de formação de subprodutos da cloração vai além da identificação dos compostos e características do meio influentes no processo, mas na compreensão das interações entre estes componentes.

Nikolaou *et al* (2004), em pesquisas na Grécia, demonstraram que a influência das condições para a formação de subprodutos da cloração é em muitos casos adversa para diferentes compostos; o tempo de reação afeta a formação de categorias de subprodutos da cloração de formas variadas; mesmo comportamento foi verificado na relação entre a influência do pH na

formação de subprodutos, no caso, a dose do cloro é aparentemente um dos fatores mais importantes a afetar a formação de subprodutos da cloração, sendo estatisticamente significativa para todos os compostos encontrados em sua pesquisa ao favorecer, em alta dose, uma alta concentração de subprodutos.

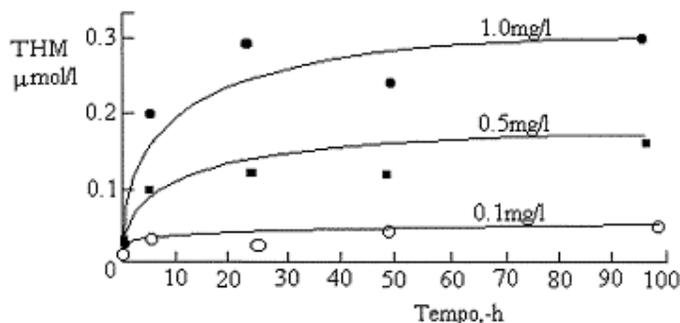
As pesquisas na área dos fatores de influência na formação de subprodutos da cloração são complexas. O conhecimento gerado, por esses estudos, das características da água bruta, dos demais fatores de influência citados anteriormente e de suas interrelações é de extrema importância para orientar os procedimentos operacionais nas estações de tratamento de água. Os principais fatores de influência são discutidos a seguir.

3.2.1 Características e concentração da matéria orgânica natural

Em estudo de Uyguner *et al* (2004), realizado em três estados dos EUA, foi constatado que a natureza e a concentração dos precursores da formação de subprodutos nos corpos d'água utilizados como mananciais para o abastecimento podem variar sazonalmente e dependem do tipo de manancial (lótico ou lântico), tipo de solo, vegetação predominante, mata ciliar, ocupação urbana, industrial e agrícola. Os ácidos húmicos e fúlvicos são as matérias orgânicas encontradas em concentrações mais representativas em águas naturais, porém, outras formas de precursores podem eventualmente também estar presentes (EL-SHAHAT *et al*, 2001).

Em estudo realizados por Stevens *et al* (1976), percebe-se a influência da concentração de ácidos húmicos na formação de trihalometanos, sendo que quanto maior a concentração de precursores, maior a concentração de THMs. Porém, a característica dos precursores tem uma relação direta com o potencial de formação de THMs. Na Figura 3.1 está apresentado o efeito da variação da concentração de ácidos húmicos (0,1 , 0,5 e 1,0 mg/L) na formação de THMs em um trabalho realizado sob as seguintes condições: água filtrada, pH igual a 6,7, temperatura mantida a 25°C e dosagem de cloro aplicada igual a 10 mg Cl₂/L.

Figura 3.1 - Efeito da concentração de ácidos húmicos.



Fonte: adaptado de STEVENS, 1976.

Algumas medidas da existência de matéria orgânica natural (MON) podem ser efetuadas por parâmetros indiretos que, embora tenham limitações, podem fornecer informações importantes sobre a MON, destacando-se: carbono orgânico total (COT) ou carbono orgânico dissolvido (COD); absorvância UV-254 nm, absorvância específica ultravioleta (SUVA: razão entre a absorvância medida no comprimento de onda de 254 nm e a concentração COD, sendo a absorvância em m^{-1} e o COD em mg/L); e potencial de formação de trialometanos (ensaio realizado com dosagem de cloro em excesso para obter concentração residual superior a 3,5 mg/L e tempo de 7 dias) (SINGER, 1999; UYGUNER *et al.*, 2004; HACH, 2007)

A eutrofização da água captada para as ETAs é outro problema, devido às florações de algas. Zhang *et al.* (2011), analisando a cinética das reações e a formação de subprodutos da desinfecção da água de um lago na China, mostraram que tanto as células das algas quanto as substâncias metabólicas excretadas pelas mesmas podem ser potenciais formadoras de subprodutos da cloração.

Outros autores como Liu *et al* (2011) estudaram a contribuição de algas (*Microcystis aeruginosa*) na formação de trialometanos. Seus resultados mostraram que este incremento ocorre tanto vindo do aumento na produtividade protéica quanto da biodegradação da alga. Também concluíram que o potencial de influência na formação de subprodutos foi maior nas células do que na matéria orgânica extracelular.

Em diversos países têm sido conduzidos estudos que avaliam o potencial de formação de subprodutos da cloração, por intermédio de metodologia específica do *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* – método 5710 (APHA, 2005), visto que, em tal

método, há condições de se obter resposta para uma situação crítica de formação de subprodutos sob condições padronizadas. A partir de tal metodologia diversos autores puderam verificar que, com o aumento da dosagem de cloro, houve maior formação de subprodutos da cloração, podendo correlacionar tal parâmetro com outros fatores de influência, a saber: concentração de matéria orgânica natural, temperatura, tempo de contato, pH e concentração de brometos (FOOLADVAND *et al.*, 2010).

3.2.2 Tempo de contato

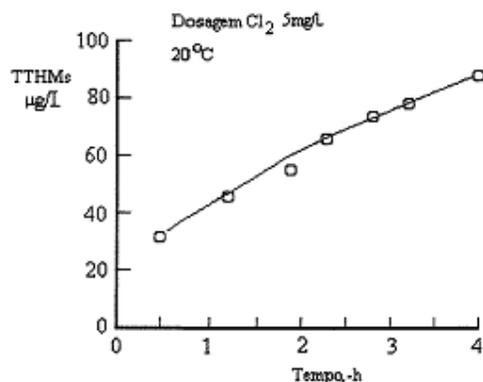
No que tange ao tempo de contato, estudos têm mostrado que a formação de subprodutos da cloração é mais significativa em ocasiões em que se tem maior tempo de contato do cloro em água. Num apanhado de dez anos de estudo na água para consumo humano na cidade de Atenas, Grécia, com um período de monitoramento mensal das quatro maiores estações de tratamento da cidade e em alguns pontos da rede de distribuição de água, foi verificado que houve aumento gradual dos níveis dos compostos, com ligeira tendência de predominância nos casos em que havia maior tempo de contato, notadamente nas pontas da rede de distribuição (GOLFINOPOULOS, 2005).

Marmo e seus colaboradores (2006) verificaram que um incremento no tempo de oxidação de 1 para 12 e depois 24 horas aumentou a formação de THM em todos os ensaios realizados no estudo de oxidação com cloro livre. Na condição de dosagem de cloro igual a 10 mg/L, sem a presença de íons brometo na solução, obteve-se uma geração de 222 e 242 µg/L de THM totais, para os tempos de contato de 12 e 24 horas, respectivamente.

Kim *et al.* (2003) verificaram incrementos de duas a quatro vezes na formação de THM, com o aumento do tempo de contato do cloro, de 6 para 48 horas, realizado em diversas águas naturais. Os maiores incrementos ocorreram para valores de pH mais elevados.

Segundo estudos de Mohamed e Ali (1995), os níveis de concentração de THMs resultantes da cloração de amostras de água do Rio Nilo aumenta progressivamente com o tempo de contato, com a maior formação nas primeiras horas. Na figura 3.2 tem-se a representação do estudo em que se utilizou uma dosagem de cloro de 5,0 mg/L, com valores de pH (8,0) e temperatura (20°C) constantes.

Figura 3.2 – Efeito do tempo de contato na formação de THMs.



Fonte: adaptado de MOHAMED e ALI, 1995.

A influência do tempo de contato é de vital importância, pois demonstra a necessidade de se monitorar a formação dos trialometanos não apenas na saída da ETA, como também ao longo do sistema de distribuição. Os padrões de potabilidade devem ser atendidos nas pontas de rede, principalmente naquelas que são extremas.

3.2.3 Formação em relação a concentração dos precursores

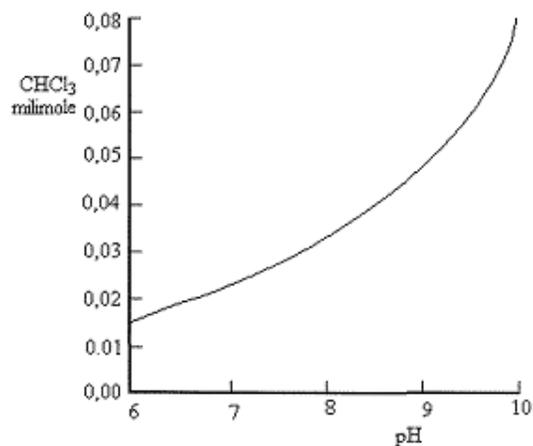
A condição climática é um fator relacionado à água bruta de superfície com o potencial para a formação de subprodutos da cloração, porém pouco citada. Alkhatib e Peters (2008) coletaram amostras da água de rios nos Estados Unidos, antes, durante e após tempestades, e concluíram que durante as mesmas o escoamento da terra e a suspensão dos sedimentos do fundo dos rios causaram aumento nos precursores de trialometanos. Neste estudo os valores na concentração de trialometanos mais que dobraram durante a tempestade e o impacto no potencial de formação de trialometanos se estendeu além do período de chuvas, efeito atribuído à natureza coloidal dos precursores de trialometanos e à taxa lenta de reassentamento das partículas.

Análises realizadas em três sistemas de abastecimento de água na Inglaterra deram suporte à hipótese de que a concentração de ácidos haloacéticos varia consideravelmente com a variação das estações climáticas, encontrando-se concentrações duas vezes superiores no outono em relação ao inverno e primavera, além de uma forte correlação entre a formação de trialometanos e ácido haloacéticos (ZHANG, 2009).

3.2.4 pH do meio

Em seu estudo pioneiro, Rook (1974) demonstrou que a formação de THM é maior para valores de pH mais altos, especialmente na faixa de 8,0 a 10,0, tendo explicado que o aumento da concentração de TAM para valores maiores de pH se justificava pela reação de formação ser catalisada em meio de caráter básico. Na Figura 3.3 a seguir tem-se uma parte dos resultados obtidos pelo referido autor.

Figura 3.3 - Efeito do tempo de contato na formação de THMs.



Fonte: adaptado de ROOK, 1974.

Cabe pontuar que vários estudos, tal como o de Singer (1999), apontam que, enquanto a formação de THM aumenta com a elevação do pH, a formação de ácidos trialoacéticos decresce, ao passo que a formação do ácido dialoacético é relativamente insensível ao pH.

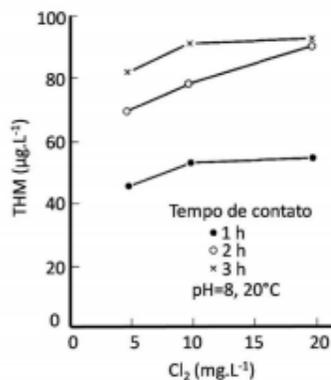
3.2.5 Dosagem de cloro

Em seus estudos Symons *et al.* (1981) verificaram que o cloro residual combinado, constituído pelas cloroaminas, tem menor poder de ataque à matéria orgânica natural do que o cloro residual livre e, conseqüentemente, conduzia a uma menor formação de THM. Desta forma, quanto maior a dosagem de cloro, maior será a probabilidade de formação de THM. A forma sob a qual o cloro se apresenta também é importante; o cloro livre tem maior poder de formação de THM do que o cloro combinado.

Todavia, a formação de THM não é diretamente proporcional às dosagens de cloro utilizadas, pois a partir de um certo valor não há concentração suficiente de precursores para que a

reação continue com a mesma intensidade, conforme Mohamed e Ali (1995) observaram em seus estudos, ora representados na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Efeito da dosagem de cloro na formação de trialometano.



Fonte: adaptado de MOHAMED E ALI, 1995.

3.2.6 Concentração de brometos.

Os íons brometo e iodeto, na presença de cloro aquoso, são oxidados a espécies capazes de participar da reação de substituição orgânica, resultando na formação de THM. O bromo apresenta vantagens sobre o cloro nas reações de substituição com os compostos orgânicos, mesmo que o cloro esteja presente em excesso quando comparado com a quantidade de bromo inicial (MEYER, 1994).

De acordo com Singer (1999), se a água apresentar quantidades apreciáveis de brometo, o cloro poderá oxidá-lo a ácido hipobromoso, o qual reagirá com a matéria orgânica natural para produzir correlatos bromados dos subprodutos clorados, dentre outros. Assim, a adição de cloro à água bruta contendo matéria orgânica e brometos pode acarretar a formação de subprodutos clorados, bromados ou uma mistura de ambos.

Marmo e seus colaboradores (2006) avaliaram a formação de THM em reações de oxidação de substâncias húmicas com cloro livre na presença e na ausência do íon brometo, e com os resultados obtidos, há indicação de que a formação de THM é diretamente proporcional à concentração do íon brometo, assim como sua presença no meio fez com que a concentração das espécies bromadas (bromofórmio e dibromoclorometano) apresentasse concentrações superiores às espécies cloradas (clorofórmio e bromodichlorometano).

3.3 Efeitos Adversos à Saúde

Segundo Macedo (2002), estudos realizados a partir de 1974, nos Estados Unidos, deram os primeiros indícios da correlação da formação de trihalometanos e o desenvolvimento de câncer. Em 1979, a EPA determinou como limite máximo para os THM a concentração de 100 µg/L, para água de abastecimento (TOMINAGA e MIDIO, 1999). Em 1998, a USEPA reduziu o limite para 80 µg/L, valor mantido até o momento (USEPA, 1999; USEPA, 2009).

No Brasil a concentração de THM de 100 µg/L, foi estabelecida pela Portaria do Ministério da Saúde 36 em 1990, sendo mantida nas portarias 1496 e 518. Tal valor foi reafirmado pela Portaria do Ministério da Saúde 2914 de dezembro de 2011 (Brasil, 2011), vigorando até o presente momento, contando ainda com o acréscimo do parâmetro ácido haloacético.

Segundo TOMINAGA e MIDIO (1999), a exposição aos subprodutos ocorre não apenas pela ingestão de água de abastecimento clorada, mas por qualquer atividade doméstica que utilize a mesma como a lavagem de roupas e o banho. Devido a propriedade lipossolúvel, esses compostos acumulam em tecidos, causando comprometimento na reprodução ou desenvolvimento de animais. Uma série de estudos epidemiológicos investigou a relação entre a exposição aos subprodutos da desinfecção e o câncer. Alguns deles sugeriram um aumento no risco de câncer para pessoas expostas aos subprodutos (NAP, 1987; WHO, 1996; DOYLE *et al.*, 1997; WHO, 2004, KOMULAINEM, 2004; USEPA, 2008).

Apesar das incertezas a respeito dos reais riscos oferecidos à saúde, há uma grande preocupação devido à quantidade de água consumida pela população cujo processo de desinfecção é feito pelo uso do cloro (LATIFOGLU, 2003).

3.4 Controle da Formação de Subprodutos da Cloração

Segundo recomendações da EPA, com o propósito de reduzir a formação de subprodutos da cloração podem ser apontadas três linhas de atuação: remoção dos compostos orgânicos precursores dos subprodutos, alteração do ponto de aplicação de cloro e/ou mudança do desinfetante e remoção dos subprodutos gerados na água (USEPA, 1999).

Do ponto de vista prático, a melhor alternativa para controlar a formação de subprodutos é a remoção dos compostos orgânicos precursores antes de se fazer a oxidação/desinfecção da água. Ferreira Filho e Sakaguti (2008) mencionam que o emprego do processo de coagulação

como técnica de remoção de compostos orgânicos naturais e precursores da formação de subprodutos da desinfecção é bem conhecido e documentado na literatura, tendo sido extensivamente estudado e proposto como técnica de tratamento de água objetivando a minimização da formação de subprodutos da desinfecção.

Entre os desinfetantes alternativos ao cloro, para reduzir ou prevenir a formação de subprodutos, podem ser utilizados o ozônio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, o permanganato de potássio e a radiação ultravioleta, assim como a cloração combinada com amônia. Estes desinfetantes podem ser utilizados em águas superficiais que apresentam concentração elevada de matéria orgânica natural e necessitam ser pré-oxidadas. A cloração combinada com amônia, ou amoniocloração, é um método que possibilita reduzir a formação de subprodutos, uma vez que as cloraminas inorgânicas, ou cloro residual combinado, levam à menor formação destes compostos. Embora a amoniocloração possibilite reduzir a formação de THMs, sabe-se que a tricloramina formada não tem ação bactericida e que a monocloramina e a dicloramina apresentam menor poder de desinfecção do que o cloro livre (DANIEL, 2001).

Conforme Paschoalato *et al.* (2008), o ozônio não tem sido muito utilizado no Brasil, mas tem sido empregado na Europa e nos Estados Unidos desde o final do século XX, para desinfecção e oxidação de água de abastecimento público. Além de ser um dos oxidantes e desinfetantes mais efetivos usado em tratamento de água, necessita de menor tempo de contato, porém sua ação desinfetante se dá por meio do residual de oxigênio molecular remanescente, o qual é instável e raramente encontrado na água após alguns minutos de o ozônio ter sido aplicado.

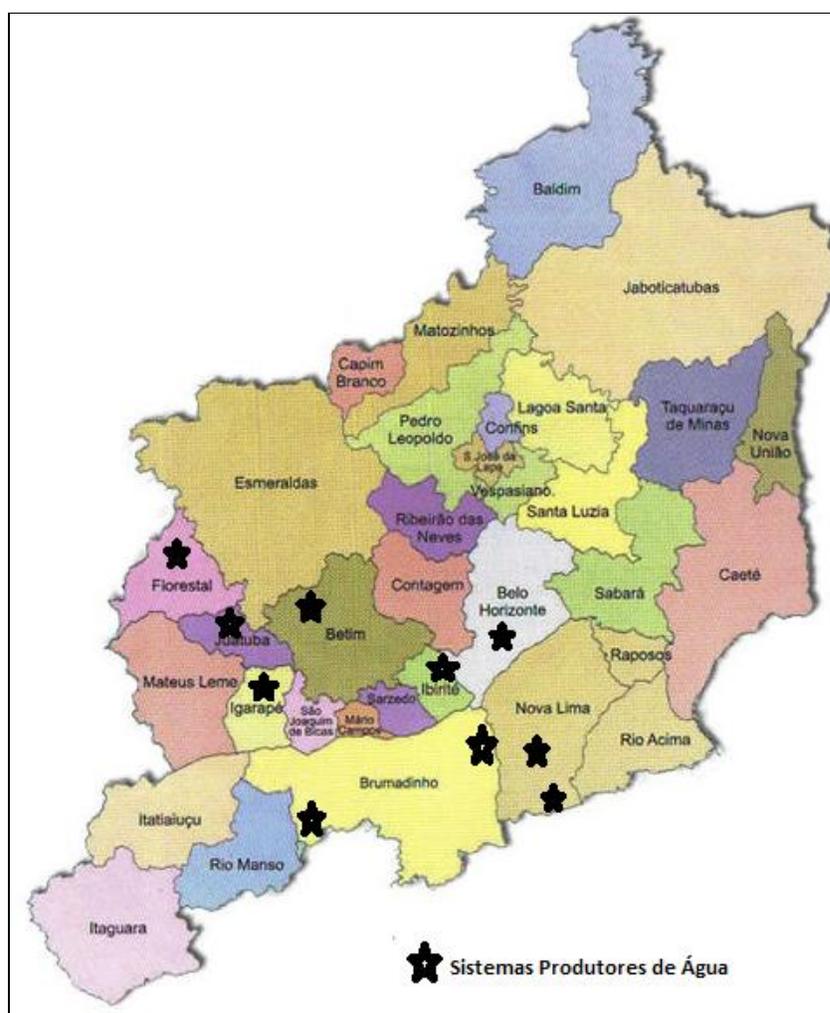
O cloro de fato é o desinfetante mais utilizado no Brasil. Mesmo diante de sua ampla utilização, são poucos os estudos que avaliam o potencial formador de trialometanos e tal medida preditiva pode trazer benefícios à minimização de subprodutos da cloração em águas de abastecimento. Ressalta-se que não se têm trabalhos deste tipo em avaliações feitas no estado de Minas Gerais, o que reforça a importância do presente estudo.

4 MÉTODOS

4.1 Caracterização dos Locais de Estudo

Esta pesquisa constituiu-se do monitoramento de dez sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), região esta que se caracteriza como a terceira maior aglomeração urbana do Brasil, com uma população de 5,4 milhões de habitantes (IBGE,2010), o que representa em torno de 25% da população do estado de Minas Gerais. Na Figura 4.1 tem-se a representação da RMBH e indicação dos sistemas de abastecimento de água em estudo.

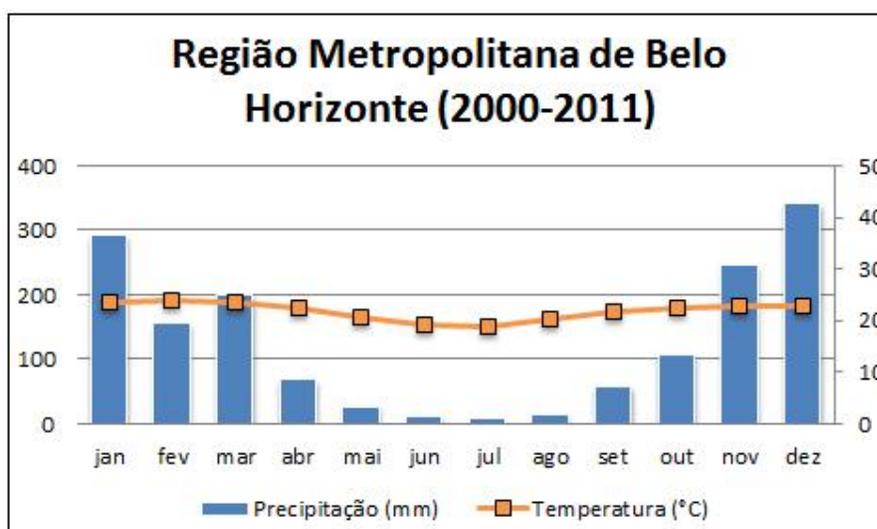
Figura 4.1 - Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG e sistemas de abastecimento de água em estudo.



Fonte: adaptado de www.wikipedia.org

A Região Metropolitana de Belo Horizonte está localizada em região de clima classificado como tropical de estação seca (*Aw*, segundo classificação *Köppen*), próximo do clima tropical de altitude (*Cwa*, segundo classificação *Köppen*). Apesar das características brandas advindas da altitude média da RMBH de cerca de 828 metros acima do nível do mar, a região apresenta temperaturas médias acima de 18 °C no mês mais frio, e durante o mês mais quente, com oscilações em torno de 24 °C. O índice médio pluviométrico anual é de 1.546 mm, com período chuvoso compreendido entre os meses de outubro a março, ao passo que o período seco corresponde aos meses de abril a setembro, sendo os meses de abril, maio, setembro e outubro considerados meses de transição. Na Figura 4.2 tem-se um climograma com os dados médios de temperatura e índices pluviométricos médios no período de 2000 a 2011.

Figura 4.2 - Precipitações e temperaturas médias da RMBH no período de 2000 a 2011.



Fonte: adaptado de [Séries Temporais - INPE](http://www.drs.inpe.br) (www.drs.inpe.br).

Apesar de tal comportamento histórico quanto aos índices pluviométricos demonstrados na figura anterior, o período de amostragem, compreendido entre outubro de 2012 e abril de 2013 apresentou comportamento adverso, caracterizando-se pelo início tardio da temporada de chuva no mês de novembro e baixo índice no mês de dezembro, que historicamente tem apresentado maior índice pluviométrico. Na Tabela 4.1 a seguir tem-se os índices pluviométricos médios mensais para o período em questão.

Tabela 4.1- Precipitação média da RMBH no período de estudo.

Mês	Precipitação (mm)
Out/2012	29
Nov/2012	231
Dez/2012	82
Jan/2013	355
Fev/2013	58
Mar/2013	155
Abr/2013	160

Fonte: adaptado de <http://www.inmet.gov.br>

Foram selecionados dez sistemas de produção de água administrados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG, referidos na Tabela 4.2, em que consta ainda informações relativas ao tipo de manancial, tratamento, processos de aplicação do cloro e porte (com referência na vazão média).

Tabela 4.2 - Sistema de Produção de água estudados.

Sistema	Local	Tipo de manancial	Tipo de Tratamento	Cloração	Vazão média
Rio Manso	Brumadinho	Lêntico	Convencional	Pré/Pós	4.120 L/s
Serra Azul	Juatuba	Lêntico	Filtração Direta	Pré/Pós	2.700 L/s
Vargem das Flores	Betim	Lêntico	Convencional	Pré/Pós	1.500 L/s
Morro Redondo	Belo Horizonte	Lótico	Convencional	Pré/Pós	750 L/s
Rio das Velhas	Nova Lima	Lótico	Convencional	Pré/Pós	6.000 L/s
Águas Claras	S. S. Águas Claras	Lótico	Convencional	Pré/Pós	2 L/s
Ibirité	Ibirité	Lótico	Convencional	Pré/Pós	450 L/s
Brumadinho	Brumadinho	Lótico	Convencional	Pré/Pós	6 L/s
Igarapé	Igarapé	Lótico	Convencional	Pré/Pós	30 L/s
Florestal	Florestal	Lótico	Convencional	Pré/Pós	13 L/s

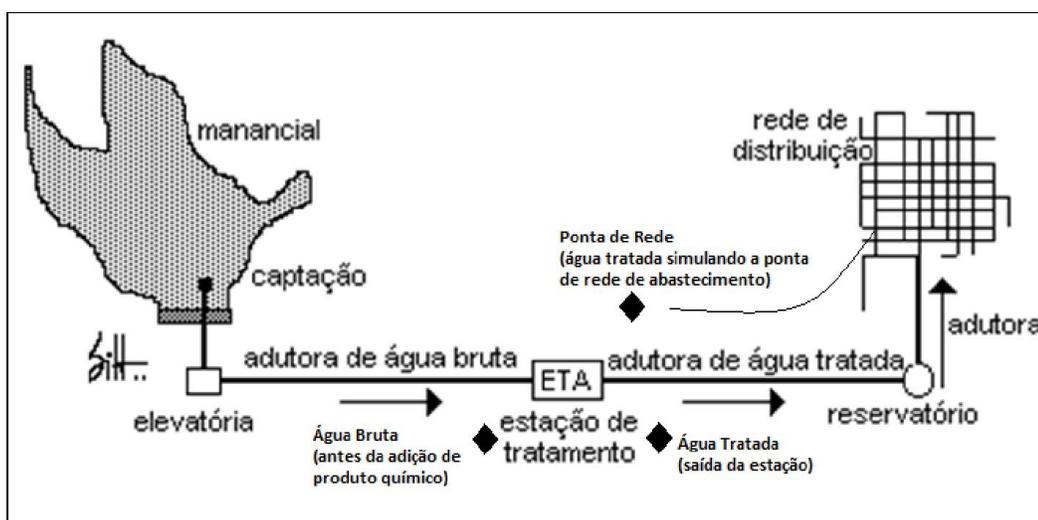
Fonte: COPASA (2012)

Dentre os dez sistemas escolhidos tem-se a representatividade dos cinco maiores sistemas produtores da RMBH e outros cinco sistemas de importância no suprimento de água, com representatividades de médio (Ibirité) e pequeno porte (Águas Claras, Brumadinho, Igarapé e Florestal). Ressalta-se ainda a presença nesta seleção de sistemas abastecidos por manancial lêntico e manancial lótico.

4.2 Amostragem

Foram realizadas coletas de amostras de água bruta, junto à entrada da estação de tratamento, antes da adição de qualquer produto químico. Para a amostragem de cada sistema foram efetuadas três coletas de água, sendo duas na ETA (na entrada e na saída, para caracterização da água bruta e tratada, respectivamente) e uma outra da saída da ETA que foi utilizada na simulação da ponta de rede do sistema de distribuição, coletas essas que foram realizadas pela equipe da COPASA. Na Figura 4.3 tem-se os pontos representativos de amostragem da água bruta e tratada.

Figura 4.3 - Pontos representativos de amostragem da água bruta e tratada.



Fonte: adaptado de www.dec.ufcg.edu.br

O período de coleta foi compreendido entre os meses de outubro/2012 a abril/2013 com frequência quinzenal. Cumpre salientar que seria desejável a amostragem no período de doze meses (com frequência mensal) para que se tivesse a avaliação de um ano hidrológico com os efeitos de suas estações climáticas. Entretanto por restrições no plano logístico de coleta, teve-se a redução de avaliação para sete meses do ano e compensando o número de análises com a frequência quinzenal de monitoramento na tentativa de se obter maior consistência para análise dos dados.

Em relação à amostra de simulação da ponta de rede de distribuição, teve-se por propósito a verificação da influência indireta do tempo de detenção da água até atingir seu ponto mais extremo na rede. Para tanto foram coletadas amostras na saída da ETA e as mesmas foram

submetidas a tempo de detenção de 24 horas para que então fossem posteriormente direcionadas as análises. As técnicas de coleta, preservação e transporte das amostras de água foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), utilizando-se frascos âmbar com tampa de rosca em teflon.

No caso das amostras de água bruta, os frascos utilizados foram de 1 L a fim de obter volume suficiente para realização do ensaio de potencial de formação de subprodutos da cloração, o que demanda que não haja a adição de agente desclorante quando da coleta. Já no caso das amostras de água tratada, foram utilizados frascos de 40 mL, contendo o agente desclorante tiosulfato de sódio, a fim de cessar a reação do cloro com a matéria orgânica, lembrando que no caso da amostra de simulação da ponta de rede, o agente desclorante foi adicionado ao final do tempo de detenção estipulado de 24 horas. Tal tempo de detenção foi estipulado a fim de padronizar a análise que vislumbrasse um maior tempo de contato, compatibilizando ainda com o plano logístico, uma vez que cada sistema enviava suas amostras ao laboratório central da COPASA em tempos distintos.

4.3 Métodos de Análises

A caracterização físico-química das amostras de água bruta, bem como a preparação das amostras para o ensaio do potencial de formação de trihalometanos, foram realizados no Laboratório de Físico-química do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, que dispõe de infraestrutura adequada à execução das atividades. Já a determinação dos trihalometanos nas amostras de estudo foi realizada no Laboratório Central da COPASA.

4.3.1 Caracterização físico-química da água bruta

A água bruta foi caracterizada pela realização dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, cor aparente, turbidez e carbono orgânico total dissolvido. Os parâmetros monitorados e os respectivos métodos analíticos constam na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Parâmetros monitorados e métodos analíticos utilizados.

Parâmetro	Método	Referência
pH	Potenciométrico	APHA 4500 H ⁺ B
Temperatura	Termômetro °C (Hg)	APHA 2550 B
Cloro residual livre	Colorimétrico DPD	APHA 4500-CI G
Turbidez	Nefelométrico	APHA 2130 B
Cor aparente	Espectrofotométrico	APHA 2120 C
Carbono orgânico total	Combustão	APHA 5310 B

4.3.2 Ensaio do potencial de formação de trialometanos

As análises de potencial de formação subprodutos na água bruta seguem os métodos 5710B, Potencial de Formação de Trialometanos (APHA, 2005) e o 10224 THM Plus (HACH, 2007) com algumas adaptações.

A metodologia do ensaio de potencial de formação sugere uma dosagem excessiva de cloro na água bruta, tal que após 7 dias de contato em condições controladas de pH $7,0 \pm 0,2$ (adquirida com adição de uma solução tampão de fosfato) e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ em ausência total de luz, resulte um teor de cloro residual livre entre 3,0 e 5,0 mg/L.

Para a determinação da dosagem de cloro, foram realizados testes preliminares com volumes conhecidos de água de estudo de cada manancial, submetidos a dosagens crescentes de cloro, tamponados em pH $7,0 \pm 0,2$ e mantidos à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ em ausência total de luz, por 7 dias para que fosse possível conhecer a demanda de cloro de cada amostra. Na sequência, foram determinadas as concentrações de cloro residual livre e os frascos que resultassem nos valores especificados na metodologia tiveram as dosagens escolhidas para os ensaios de potencial de formação.

Posteriormente, o potencial de formação de trialometanos (PFTHM) foi calculado a partir da diferença entre a quantidade formada no tempo de incubação de 7 dias e quantidade inicial, que foi considerada a quantidade num tempo zero (sem adição de cloro) ou após 30 minutos de tempo de contato. Para se atingir os tempos necessários à verificação do potencial de formação, adicionou-se o agente desclorante para cessar a reação de cloro.

Após selecionar as amostras de interesse, foi feita a transferência para um frasco de 40 mL e posterior quantificação dos trialometanos

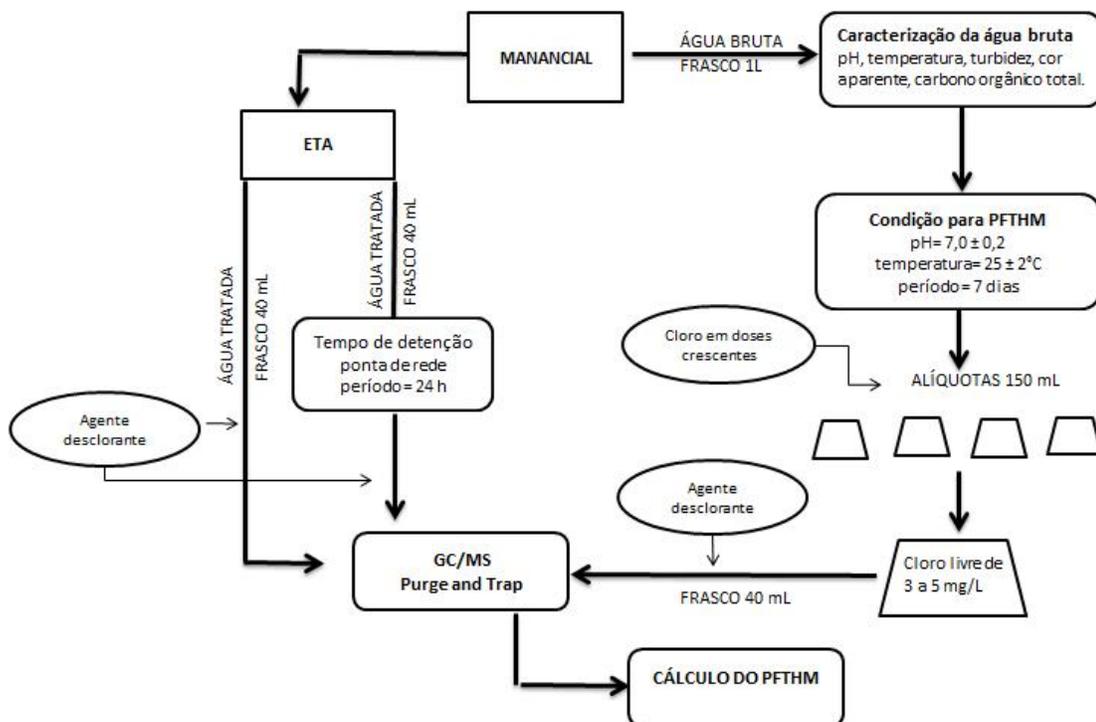
4.3.3 Quantificação dos trialometanos

Os trialometanos quantificados foram: o clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio, quantificação esta feita com base no método 6210 D, Cromatografia gasosa/Espectrômetro de Massa (GC/MS) com coluna capilar através do procedimento “*purge and trap*” (APHA, 2005). Tal procedimento foi realizado no laboratório de cromatografia da COPASA.

O método apresenta a vantagem de não ser necessário fazer a extração de forma manual, tal qual ocorre na extração líquido-líquido, em que se procede a separação entre as fases orgânicas e inorgânicas. Na extração por “*purge and trap*”, os compostos orgânicos voláteis são transferidos através da purga da amostra líquida para a fase de vapor por borbulhamento, através de um gás inerte. O vapor é então arrastado para uma coluna de retenção, onde são adsorvidos os compostos orgânicos. Depois de completada a purga, a coluna é aquecida em temperatura programada, ocorrendo a dessorção dos compostos orgânicos. Os mesmos são arrastados para a coluna capilar do cromatógrafo, onde ocorre a separação dos compostos que posteriormente são transferidos para o espectrômetro de massa, sendo bombardeados por elétrons, para quebra de suas cadeias e identificação pelos íons de quantificação.

Os procedimentos das análises são resumidos no fluxograma da Figura 4.4.

Figura 4.4 - Fluxograma dos procedimentos das análises.



4.4 Tratamento dos Dados

As amostras de água bruta foram caracterizadas pelos parâmetros de pH, temperatura, turbidez, cor aparente e carbono orgânico total, tendo-se aplicado cálculos de estatística descritiva ao universo total de dados com a proposta de se conhecerem: média aritmética, média geométrica, mediana, percentil 10%, percentil 90% e desvio padrão.

Os resultados foram apresentados por meio de tabelas e gráficos temporais para permitir uma melhor interpretação da variabilidade observada na amostragem, utilizando para tal apresentação os recursos do programa *Microsoft Office Excel 2010*.

A concentração dos compostos de trialometano amostradas foi avaliada por meio da estatística descritiva relativa a média aritmética, média geométrica, mediana, percentil 10% e 90% e desvio padrão.

Ainda que não se deva descartar a hipótese de imprecisão analítica ou erros na coleta e preservação das amostras, optou-se por manter valores de observações substancialmente

diferentes entre si, o que se consubstanciaria na presença de *outliers*, visto que estes podem ser um valor indicativo das reais características da população em estudo, que por sua vez conta com um pequeno número de dados coletados no período de amostragem, acrescido ainda o fato de algumas amostragens previstas não terem sido realizadas, que podem ser explicadas por problemas logísticos, uma vez que tais procedimentos de coleta fugiam da rotina dos operadores e também de alguns casos de amostras que se perderam, quer seja por insuficiência de volume para análise, quer pelo extravio de vidrarias.

Para investigar possíveis correlações, utilizou-se a matriz de correlação de Spearman a fim de identificar as correlações entre os trialométanos e as variáveis que influenciam na formação destas substâncias. Para análise da correlação de Spearman foi considerada significativa a correlação em que $p < 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente item são mostrados os seguintes aspectos dos sistemas de abastecimento de água estudados: caracterização da água bruta através de séries temporais e estatística descritiva; avaliação espaço-temporal da formação de trihalometanos por meio da estatística descritiva e dos coeficientes de correlação com os fatores que podem influenciar sua formação. Na sequência são mostrados os resultados referentes aos dez sistemas de abastecimento de água da RMBH. No Apêndice são apresentados os resultados dos Sistemas em estudo, a citar; as análises físico-químicas da água bruta (AB) e os resultados de trihalometanos na amostra de potencial formador de THM, e também das amostras de água tratada, representativas da saída do tratamento e da simulação de ponta de rede, respectivamente.

Conforme mencionado na seção dos métodos, a amostragem ocorreu numa frequência quinzenal compreendida entre os meses de outubro/2012 a abril/2013. Anterior a este período estavam sendo feitas coletas para efeito de treinamento da equipe para que se pudesse identificar as dificuldades inerentes ao processo, uma vez que alguns procedimentos fugiam da rotina da equipe de coletores. Tal medida foi essencial para realização da amostragem, como exemplo foi identificado que alguns dos frascos destinados à simulação da ponta de rede não passaram pelo tempo de contato estipulado de 24 horas e foram enviados para análise cromatográfica sem ter cessado a reação de cloro.

Ressalta-se ainda que, devido a problemas na logística da coleta e preservação dos frascos, algumas amostras não puderam compor a base de dados no período de amostragem estipulado. Tais ausências são elucidadas nas tabelas de estatística descritiva como porcentagem de dados faltantes.

Por se tratar de um grupo de dados relativamente pequeno em relação ao tempo de monitoramento, é perceptível o impacto que os dados faltantes causam no comportamento temporal ora representados nos gráficos de cada sistema produtor que se segue. Entretanto, mesmo sob este viés, análises qualitativas dos dados disponíveis trazem sua importância aos resultados.

Ainda em relação ao tempo de monitoramento, destaca-se a ausência de avaliação da sazonalidade, uma vez que o período entre outubro e abril é tido como período chuvoso.

5.1 Caracterização Físico-Química da Água Bruta por Sistema

No que tange a caracterização da água bruta, foram monitorados os parâmetros pH, temperatura, turbidez, cor aparente e carbono orgânico total.

Na sequência são apresentados os resultados dos Sistemas por meio de tabelas em que se tem a apresentação de características da amostragem (número de dados e porcentagem de dados faltantes), a estatística descritiva (média aritmética, média geométrica, mediana, percentil 10% e percentil 90% e desvio padrão) dos parâmetros verificados na caracterização da água bruta e também gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Tais recursos da tabela e dos gráficos servem para ilustrar o universo amostral dos dados de cada sistema. Uma discussão acerca dos parâmetros será abordada na seção seguinte, em que então se procede a discussão para os dez sistemas produtores agrupados por parâmetro.

5.1.1 Sistema Rio Manso

Na Tabela 5.1 tem-se a apresentação de características da amostragem e a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta.

Tabela 5.1 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Rio Manso.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	12	12	12	12	11
% faltantes	14%	14%	14%	14%	21%
Média aritmética	6,77	24,4	18,2	69,8	2,08
Média geométrica	6,77	24,32	14,31	49,12	1,83
Mediana	6,68	24,80	14,50	47,50	1,92
Percentil 10%	6,42	22,10	7,83	23,20	1,16
Percentil 90%	7,07	26,98	25,48	79,50	2,82
Desvio Padrão	0,36	2,14	16,88	87,56	1,18

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.1 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Rio Manso.

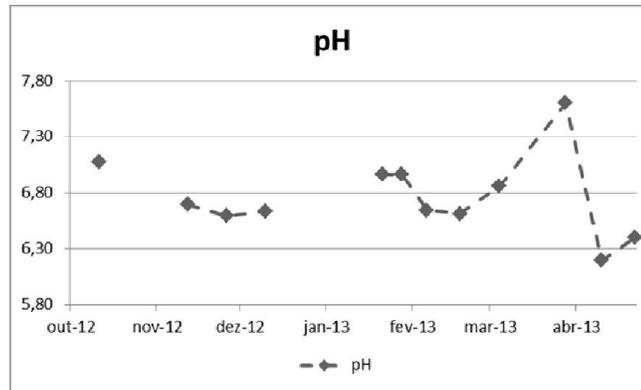


Figura 5.2 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Rio Manso.

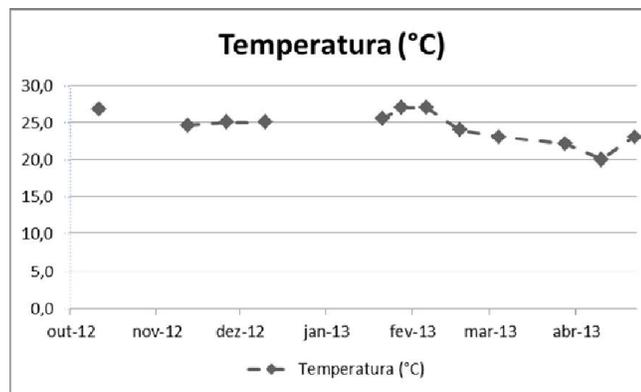


Figura 5.3 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Rio Manso.

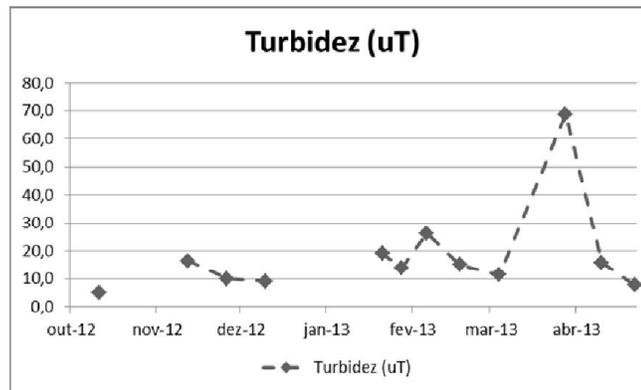


Figura 5.4 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluente ao Sistema Rio Manso.

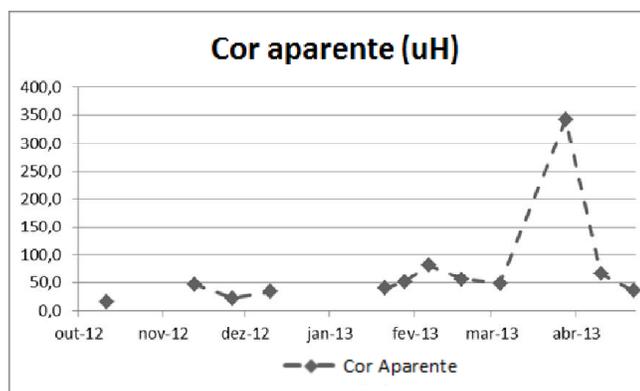
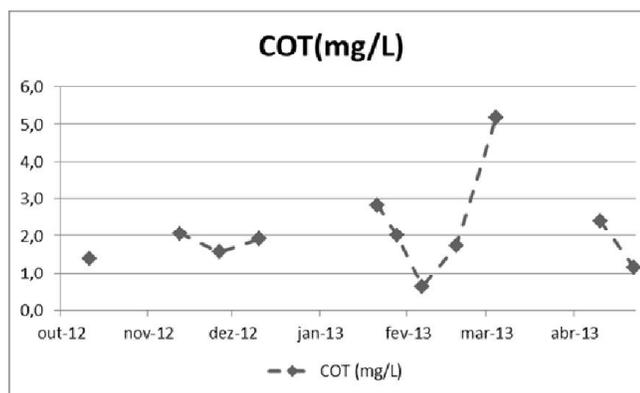


Figura 5.5 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluente ao Sistema Rio Manso.



A temperatura média observada durante o período monitorado foi de 24,4 °C, com máxima ocorrendo nos meses de janeiro e fevereiro/2013, ambas 27 °C e mínima de 20 °C ocorrida em abril/2013. Quanto ao pH, apesar do valor deste índice ser medido em escala logarítmica, seu comportamento se apresenta dentro das faixas próximas à neutralidade.

A turbidez variou de 5,0 uT no mês de outubro a 68,7 uT no mês de abril. Com base na análise gráfica do comportamento temporal, pode-se supor que o maior valor está associado à ocorrência de precipitação atípica no referido período de coleta.

Quanto ao parâmetro cor aparente observa-se o comportamento da curva temporal semelhante à curva do parâmetro turbidez, apresentando os valores máximos e mínimos refletindo sobre os valores obtidos em turbidez, sendo a cor aparente 16 uH e 342 uH, respectivamente.

Dos valores de carbono orgânico total, obteve-se uma faixa de variação de 0,63 a 5,17 mg/L, apresentando uma média de 2,08 mg/L e um desvio padrão de 1,18 mg/L.

5.1.2 Sistema Serra Azul

Na Tabela 5.2 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido Sistema.

Tabela 5.2 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Serra Azul.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
Nº dados	11	11	11	11	11
% faltantes	21%	21%	21%	21%	21%
Média aritmética	6,88	24,2	8,9	39,1	1,30
Média geométrica	6,85	24,10	7,88	32,75	1,08
Mediana	6,96	24,00	8,30	43,00	1,06
Percentil 10%	6,08	22,00	2,90	14,00	0,53
Percentil 90%	7,44	26,40	14,10	65,00	2,59
Desvio Padrão	0,62	2,11	4,02	21,89	0,84

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.6 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.

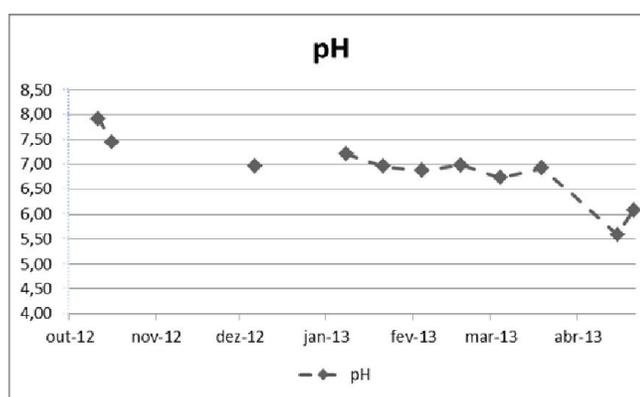


Figura 5.7 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Serra Azul.

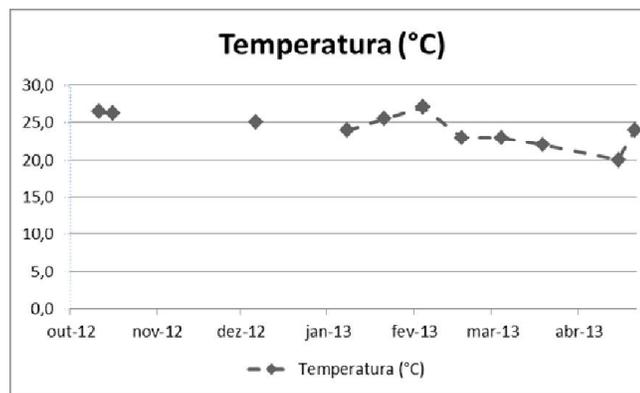


Figura 5.8 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Serra Azul.

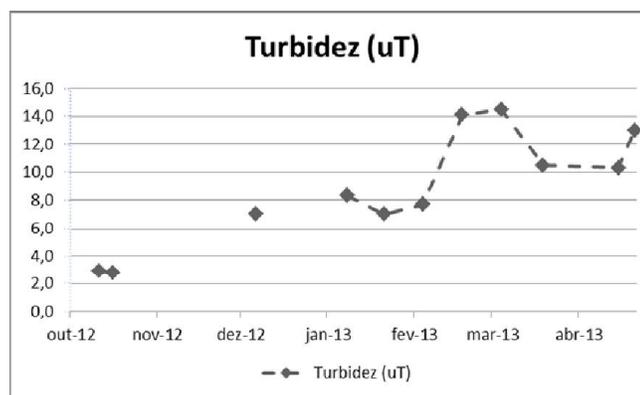


Figura 5.9 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluente ao Sistema Serra Azul.

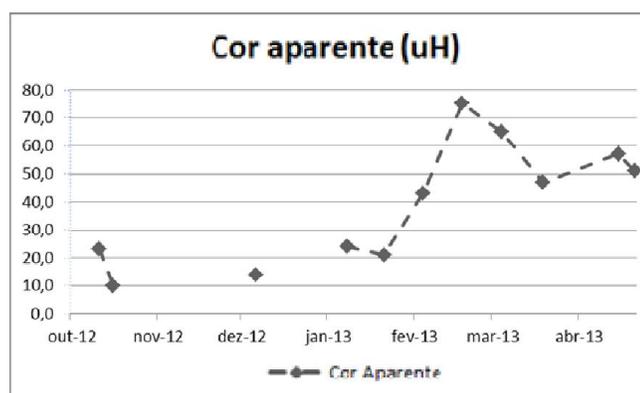
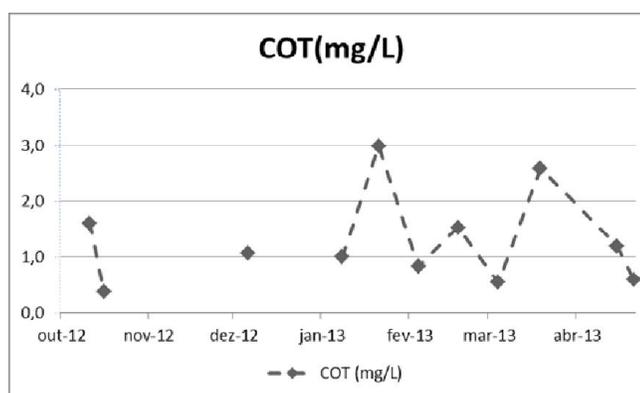


Figura 5.10 - Gráfico temporal dos valores de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Serra Azul.



Na análise gráfica, ora representadas nas Figuras 5.6 e 5.7 percebe-se certa dispersão, com valor de pH em torno de 5,0 como valor mínimo e 7,9 como valor máximo. No caso da temperatura teve-se uma amplitude de 7°C (mín. 20°C e máx. 27°C).

A turbidez variou de 3,0 uT no mês de outubro a 14,0 uT no mês de março. Em se tratando de um período considerado como chuvoso, tais valores podem ter sido impactados por períodos de estiagem à época da coleta.

Quanto ao parâmetro cor aparente observa-se o comportamento da curva temporal semelhante à curva do parâmetro turbidez, apresentando os valores máximos e mínimos refletindo sobre os valores obtidos em turbidez, sendo a cor aparente 10 uH e 74 uH, respectivamente.

Em relação aos valores de carbono orgânico total, obteve-se uma leve oscilação que não acompanhou o comportamento de turbidez e cor aparente, apresentando uma faixa de variação de 0,30 a 3,12 mg/L, apresentando uma média de 1,30 mg/L e desvio padrão de 0,84 mg/L.

5.1.3 Sistema Vargem das Flores

Na Tabela 5.3 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido sistema.

Tabela 5.3 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Vargem das Flores.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	12	12	12	12	12
% faltantes	14%	14%	14%	14%	14%
Média aritmética	6,92	23,3	7,1	27,9	3,05
Média geométrica	6,90	23,20	5,47	24,83	2,47
Mediana	7,01	23,50	5,00	26,00	3,43
Percentil 10%	6,06	20,17	3,09	14,10	1,39
Percentil 90%	7,49	25,45	9,04	47,10	4,69
Desvio Padrão	0,56	2,02	7,72	13,91	1,45

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.11 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Vargem das Flores.

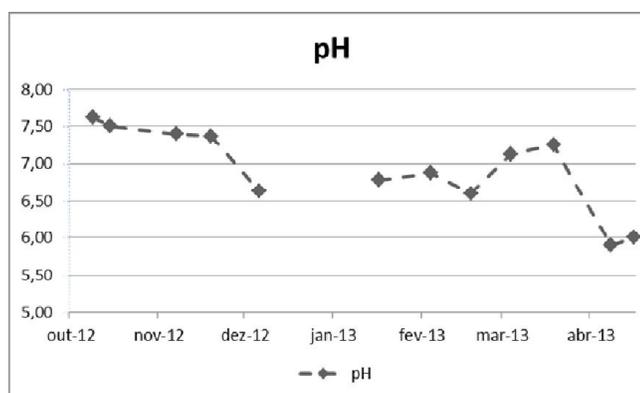


Figura 5.12 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Vargem das Flores.

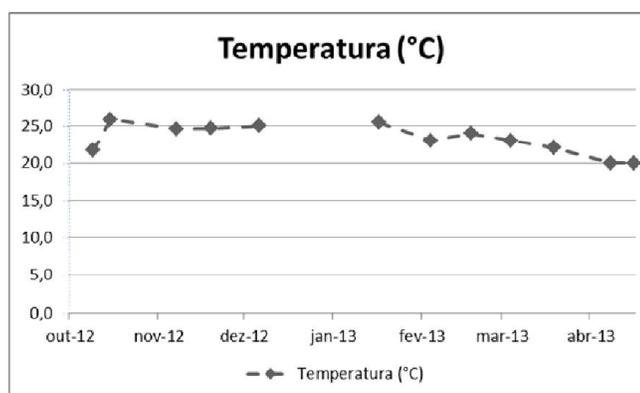


Figura 5.13 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Vargem das Flores.

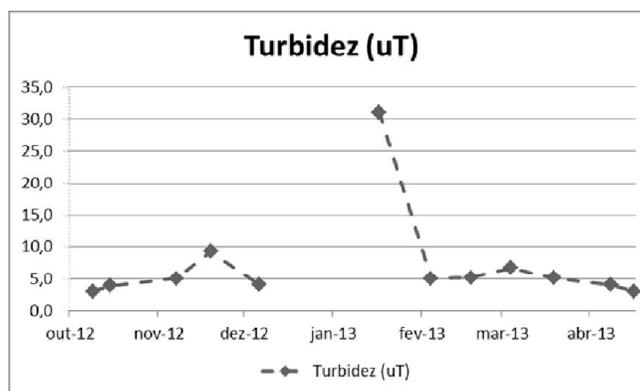


Figura 5.14 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluente ao Sistema Vargem das Flores.

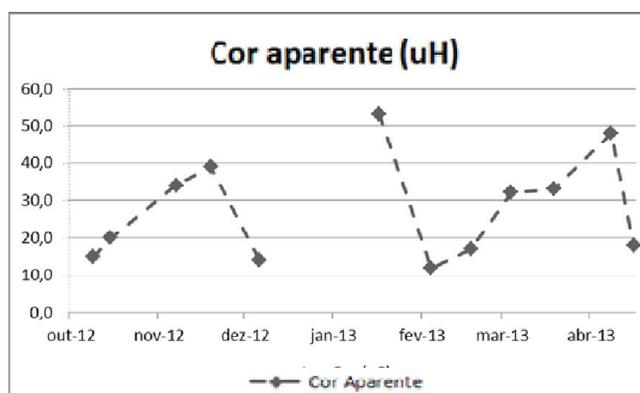
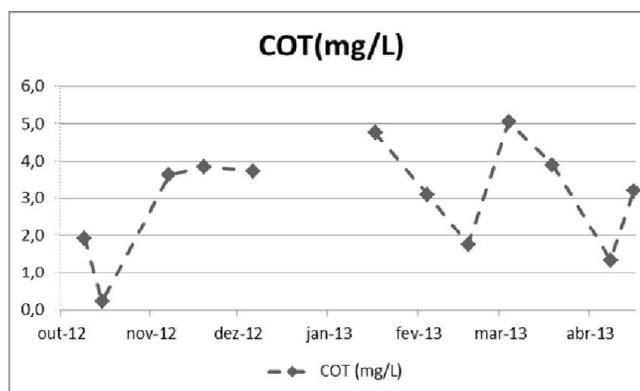


Figura 5.15 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluente ao Sistema Vargem das Flores.



Na análise gráfica, ora representadas nas Figuras 5.11 e 5.12 percebe-se certa dispersão, com valor de pH em torno de 5,8 como valor mínimo e 7,6 como valor máximo. No caso da temperatura teve-se uma amplitude de 6°C (mín. 20°C e máx. 26°C).

A turbidez de certa forma apresentou pequena variação, entre 3,0 a 9,3 uT, excetuando-se por um valor extremo de 31 uT ocorrido no mês de janeiro. Com base na análise gráfica do comportamento temporal, pode-se supor que o maior valor está associado à ocorrência de precipitação atípica no referido período de coleta.

O parâmetro cor aparente não apresentou semelhança de comportamento da curva temporal em relação ao parâmetro turbidez, apresentando uma faixa de ascensão entre os meses de fevereiro e abril, enquanto a turbidez teve um decréscimo seguido de uma leve estagnação em torno de 5 uT.

Dos valores de carbono orgânico total, obteve-se uma oscilação que não acompanhou o comportamento de turbidez e cor aparente, tendo valores máximo e mínimo de 0,20 e 5,00 mg/L, respectivamente e apresentando uma média de 3,05 mg/L e desvio padrão de 1,45 mg/L.

5.1.4 Sistema Morro Redondo

Na Tabela 5.4 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do sistema em questão.

Tabela 5.4 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Morro Redondo.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	8	8	7	7	8
% faltantes	43%	43%	50%	50%	43%
Média aritmética	6,75	23,4	3,9	11,9	0,90
Média geométrica	6,74	23,27	3,27	9,24	0,69
Mediana	6,92	23,00	2,00	8,00	0,75
Percentil 10%	6,05	21,40	1,44	5,00	0,25
Percentil 90%	7,11	25,74	8,46	20,40	1,53
Desvio Padrão	0,48	2,11	3,49	7,86	0,67

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.16 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Morro Redondo.

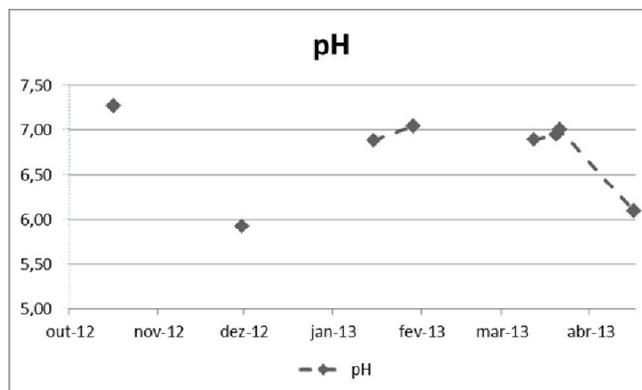


Figura 5.17 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Morro Redondo.

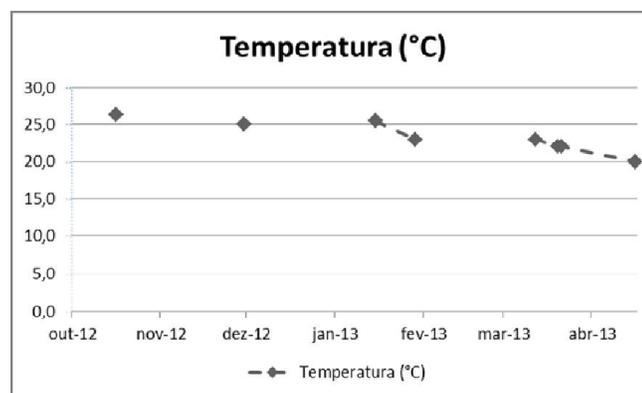


Figura 5.18 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Morro Redondo.

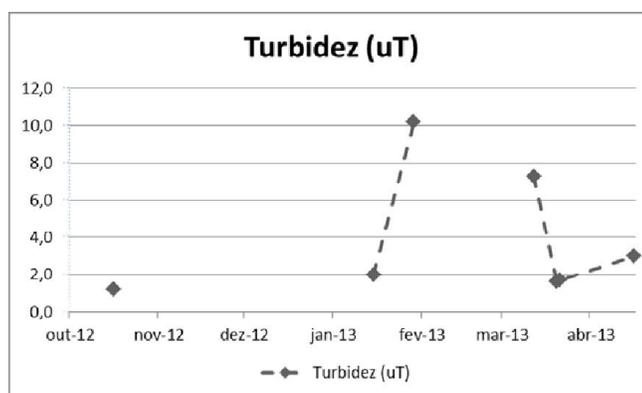


Figura 5.19 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluente ao Sistema Morro Redondo.

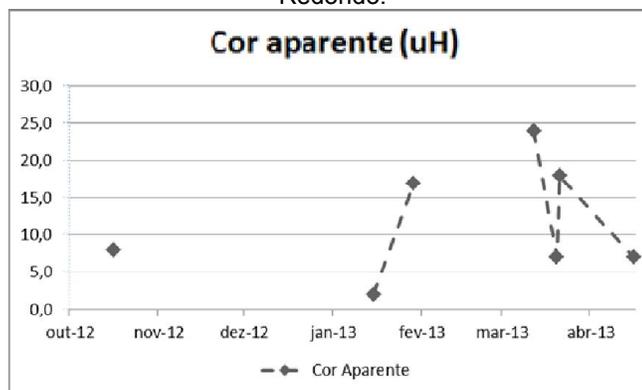
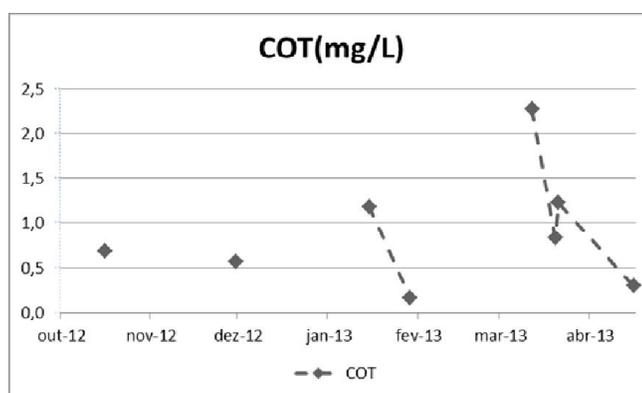


Figura 5.20 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluente ao Sistema Morro Redondo.



No presente sistema, percebe-se a partir da tabela e das figuras apresentadas que a porcentagem de dados faltantes causa impacto em sua análise temporal, justificada ainda pela frequências dos intervalos de amostragem.

Neste caso a análise se dá por seus reflexos qualitativos, o que é possível extrair de característica é que os dados disponíveis seguem o padrão de valores medidos à época em sistemas similares.

5.1.5 Sistema Rio das Velhas

Na Tabela 5.5 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido sistema.

Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Rio das Velhas.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	10	10	10	9	9
% faltantes	29%	29%	29%	36%	36%
Média aritmética	6,83	23,72	65,00	113,78	1,12
Média geométrica	6,81	23,65	36,41	78,20	0,68
Mediana	6,80	23,50	33,20	75,00	0,94
Percentil 10%	6,15	21,80	10,68	34,40	0,19
Percentil 90%	7,53	25,75	152,60	217,00	2,31
Desvio Padrão	0,53	1,91	80,91	124,86	1,03

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.21 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluyente ao Sistema Rio das Velhas.

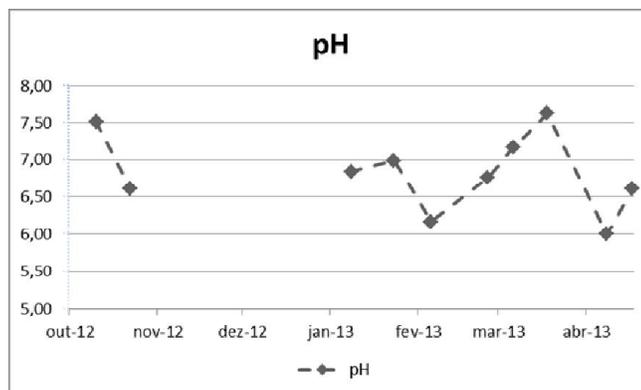


Figura 5.22 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema das Velhas.

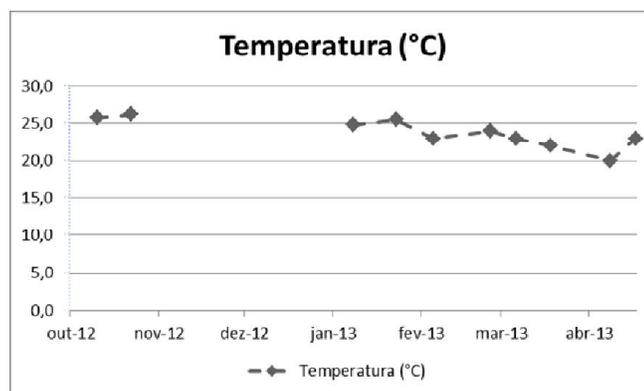


Figura 5.23 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Rio das Velhas.

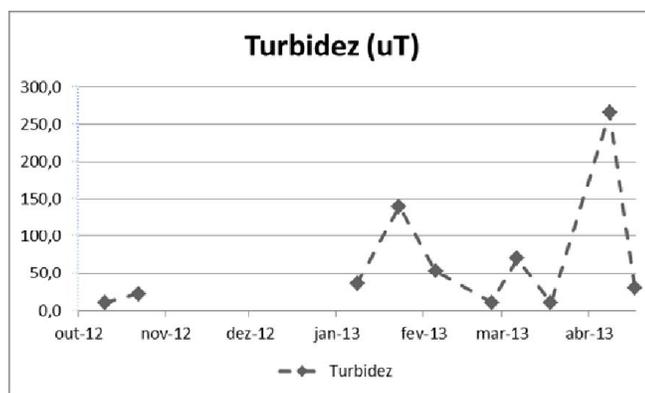


Figura 5.24 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluyente ao das Velhas.

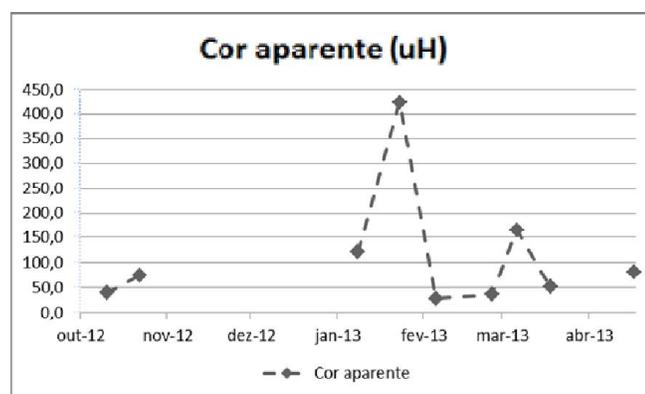
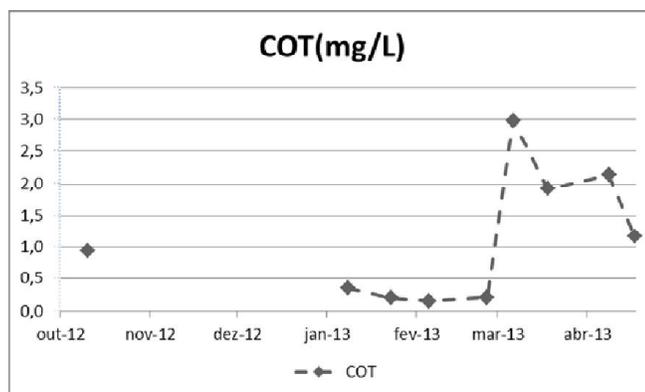


Figura 5.25 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Rio das Velhas.



Na interpretação do corrente sistema chama a atenção a variação da turbidez com pico de 266 uT e mínima de 10 uT, amplitude essa que se reflete também na cor aparente com pico de 425 uH e mínima de 28 uH. Apesar de tais valores estarem sujeitos a condições atípicas no

momento da coleta, o manancial do referido sistema (Rio das Velhas), por ser do tipo lótico, está sujeito a tais variações.

O carbono orgânico total por sua vez, apresentou uma modesta faixa de variação em relação aos valores típicos de mananciais superficiais.

5.1.6 Sistema Águas Claras

Na Tabela 5.6 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido sistema.

Tabela 5.6 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Águas Claras.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	10	10	10	9	9
% faltantes	29%	29%	29%	36%	36%
Média aritmética	6,77	23,29	6,24	8,56	1,05
Média geométrica	6,75	23,21	3,55	6,77	0,31
Mediana	6,89	23,00	2,60	9,00	0,30
Percentil 10%	6,18	20,81	1,48	3,40	0,13
Percentil 90%	7,41	25,64	12,00	12,80	2,09
Desvio Padrão	0,50	2,07	8,83	5,32	1,49

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.26 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Águas Claras.

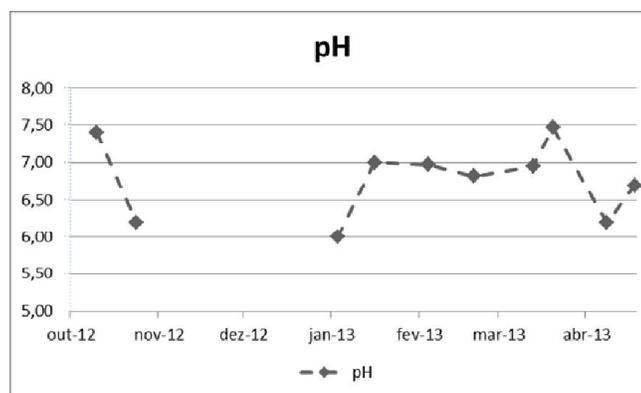


Figura 5.27 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Águas Claras.

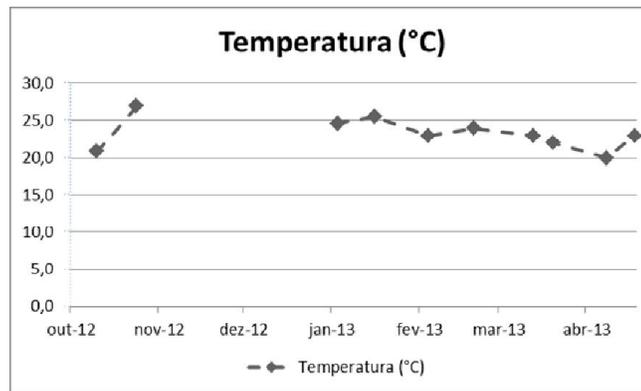


Figura 5.28 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Águas Claras.

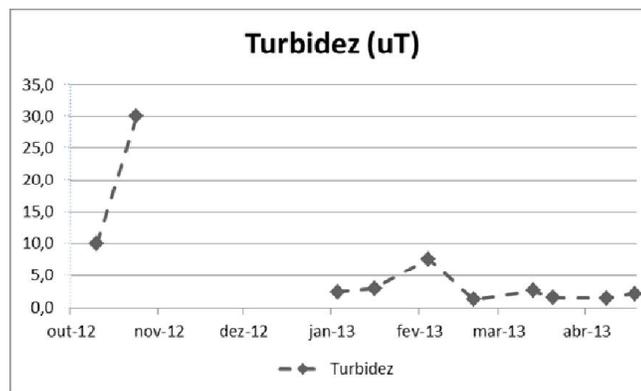


Figura 5.29 - Gráfico temporal dos valores de Cor aparente da água bruta afluente ao Sistema Águas Claras.

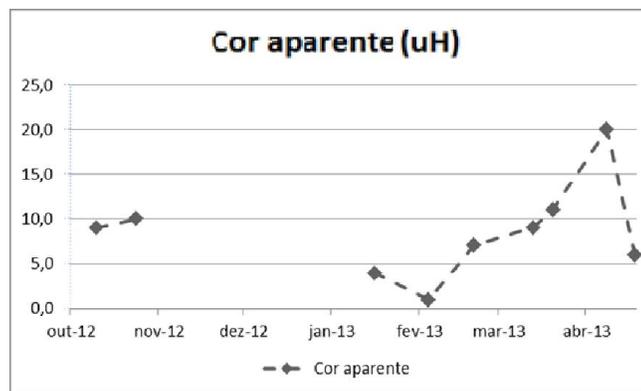
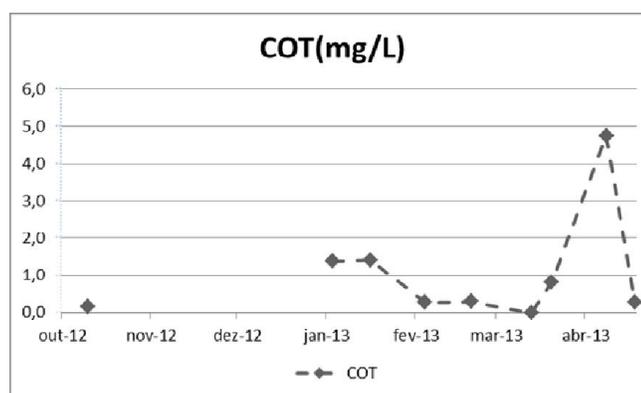


Figura 5.30 - Gráfico temporal dos valores de Carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Águas Claras.



A partir da análise dos resultados, percebe-se que tal sistema tem apresentado comportamento análogo aos demais sistemas nos parâmetros de pH e temperatura. Entretanto, chama a atenção o parâmetro de turbidez apresentar um valor baixo para o período, que se caracteriza como chuvoso. Já os demais parâmetros têm demonstrado comportamento similar aos dos outros sistemas.

5.1.7 Sistema Ibirité

Na Tabela 5.7 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta no sistema em questão.

Tabela 5.7 – Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta – Sistema Ibirité.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
Nº dados	12	12	12	11	11
% faltantes	14%	14%	14%	21%	21%
Média aritmética	6,92	23,55	2,99	7,09	1,75
Média geométrica	6,91	23,47	2,62	5,38	1,10
Mediana	7,02	23,50	2,40	5,00	1,19
Percentil 10%	6,62	21,19	1,71	2,00	0,37
Percentil 90%	7,27	25,50	4,90	15,00	3,03
Desvio Padrão	0,33	2,05	1,68	5,17	1,59

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.31 – Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Ibirité.

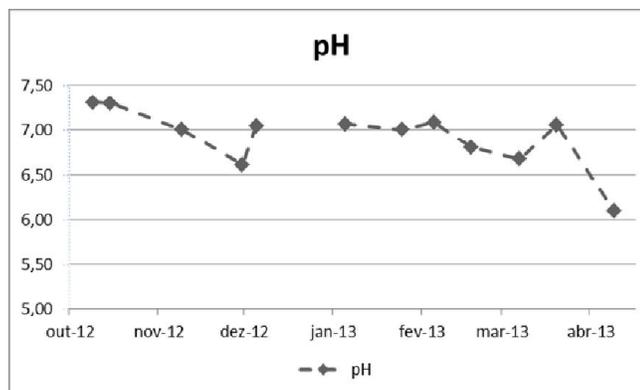


Figura 5.32 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Ibirité.

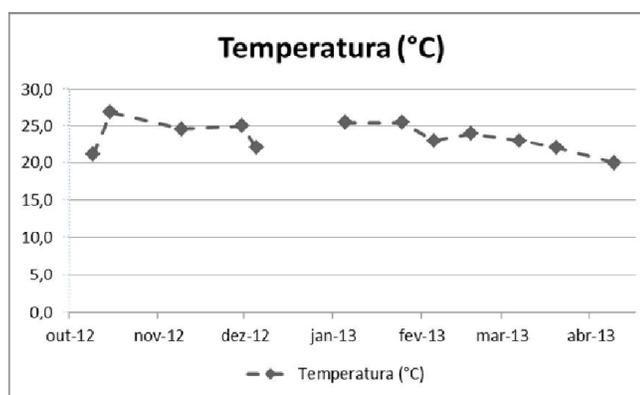


Figura 5.33 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Ibirité.

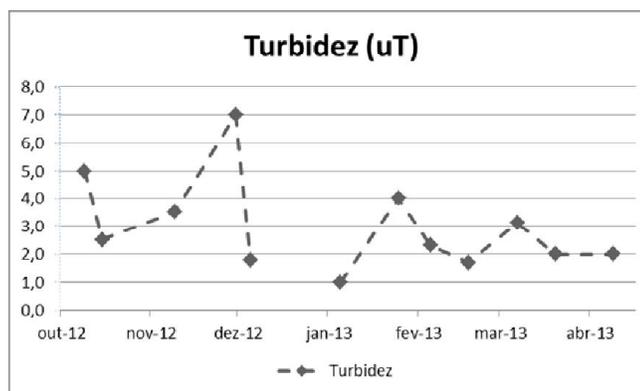


Figura 5.34 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.

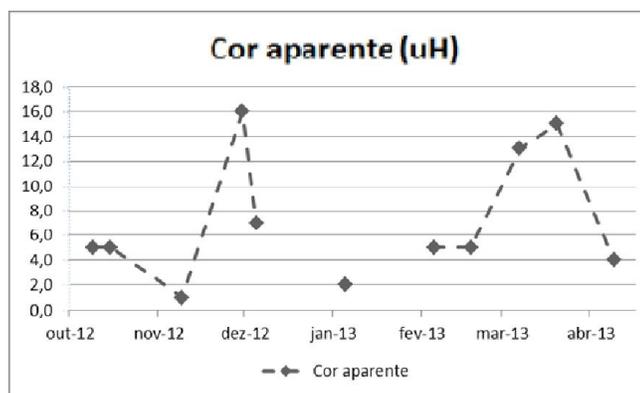
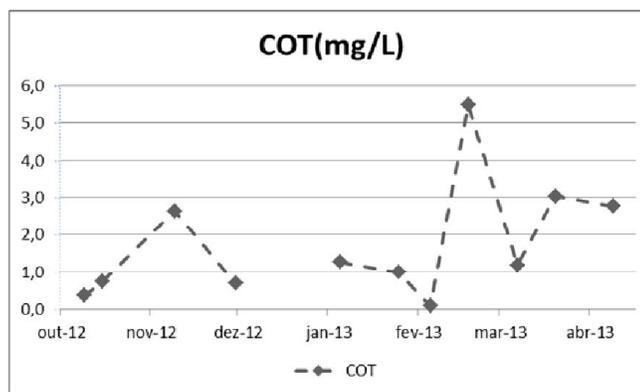


Figura 5.35 - Gráfico temporal dos valores de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Ibirité.



De acordo com a apresentação dos dados o sistema apresentou pico de turbidez no mês de dezembro, entretanto pode-se caracterizá-lo como valor baixo, perante a característica do período chuvoso, chegando a apresentar valor mínimo de 1,0 uT e média de 2,99 uT.

Os valores de carbono orgânico total apresentaram uma oscilação entre um mínimo de 0,10 mg/L e máximo de 5,40 mg/L, ocorrendo ambos no mês de fevereiro. Tal ocorrência pode ser associada a comportamento ático de precipitação no dia da coleta, bem como alguma imprecisão na análise.

5.1.8 Sistema Brumadinho

Na Tabela 5.8 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido sistema.

Tabela 5.8 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta - Sistema Brumadinho.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	13	13	13	13	13
% faltantes	7%	7%	7%	7%	7%
Média aritmética	6,95	24,58	77,60	249,64	2,96
Média geométrica	6,94	24,53	56,59	191,40	2,50
Mediana	7,03	24,60	71,70	184,00	2,72
Percentil 10%	6,40	22,20	17,86	108,00	1,38
Percentil 90%	7,32	26,76	159,40	450,00	4,67
Desvio Padrão	0,39	1,72	60,49	156,16	1,53

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.36 - Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta aflente ao Sistema Brumadinho.

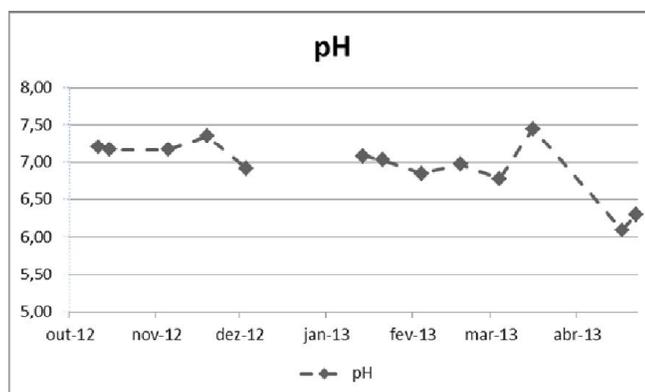


Figura 5.37 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta aflente ao Sistema Brumadinho.

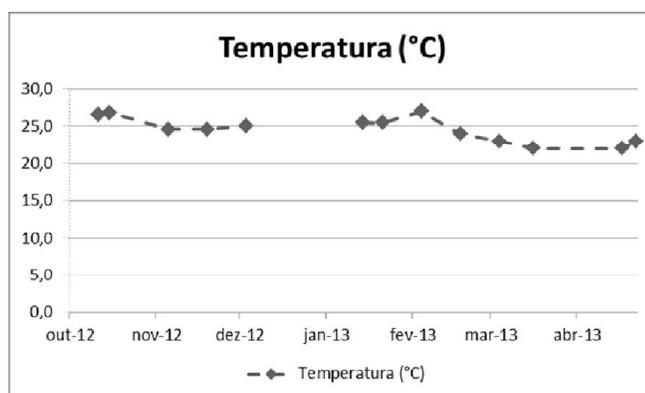


Figura 5.38 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Brumadinho.

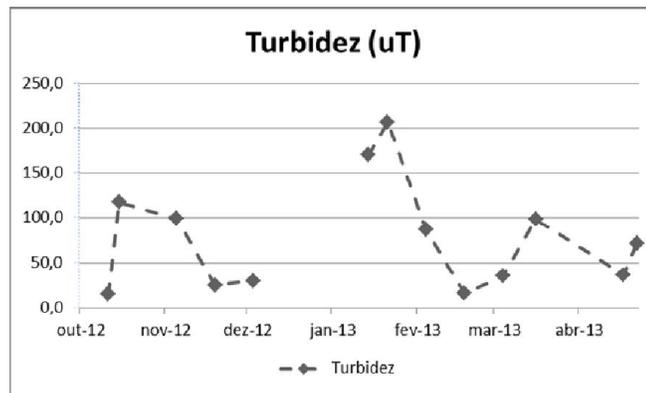


Figura 5.39 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluente ao Sistema Brumadinho.

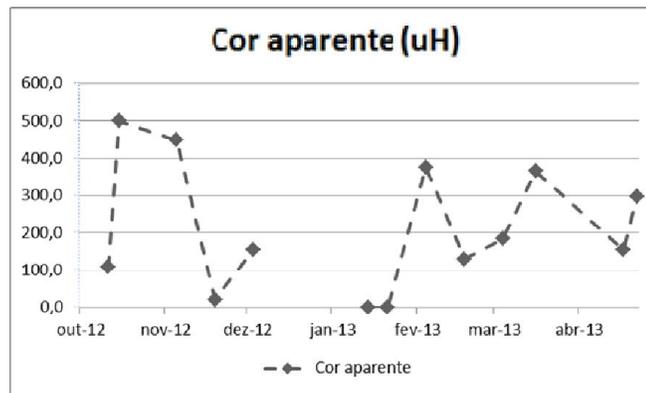
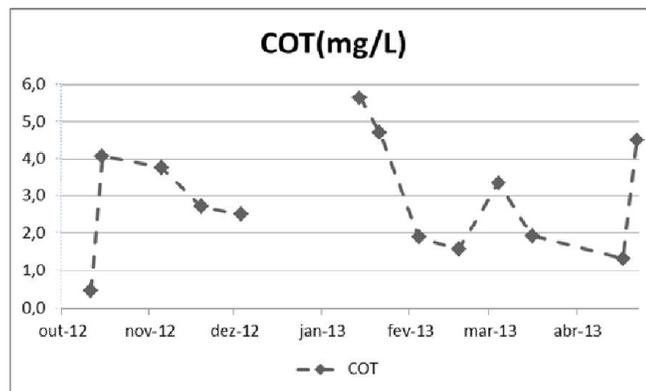


Figura 5.40 - Gráfico temporal dos valores de concentração de carbono orgânico total da água bruta afluente ao Sistema Brumadinho.



De acordo com os valores apresentados o parâmetro turbidez apresenta ampla variação, com mínimo de 15,3 uT e máximo de 207,0 uT, valor este ocorrendo no mês de janeiro. O mesmo

se reflete para os parâmetros de cor aparente e COT, em termos de oscilação de máximos e mínimos.

5.1.9 Sistema Igarapé

Na Tabela 5.9 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido sistema.

Tabela 5.9 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta - Sistema Igarapé.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	10	10	10	10	10
% faltantes	29%	29%	29%	29%	29%
Média aritmética	6,79	24,60	17,10	86,70	2,11
Média geométrica	6,78	24,49	13,89	78,13	1,88
Mediana	6,82	24,60	16,05	78,00	2,25
Percentil 10%	6,55	21,80	6,23	48,70	0,97
Percentil 90%	7,10	27,00	32,99	119,90	3,22
Desvio Padrão	0,30	2,43	10,77	45,82	1,00

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.41 - Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Igarapé.

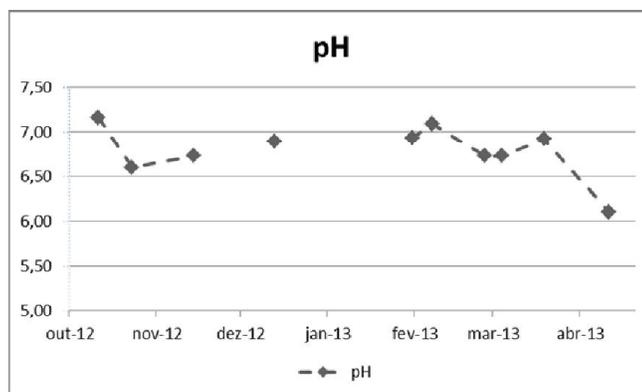


Figura 5.42 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.

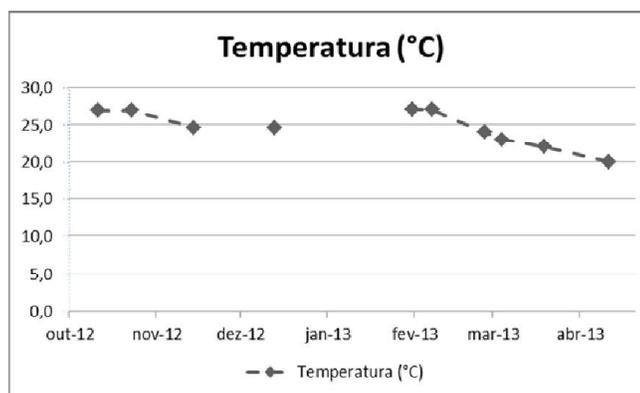


Figura 5.43 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.

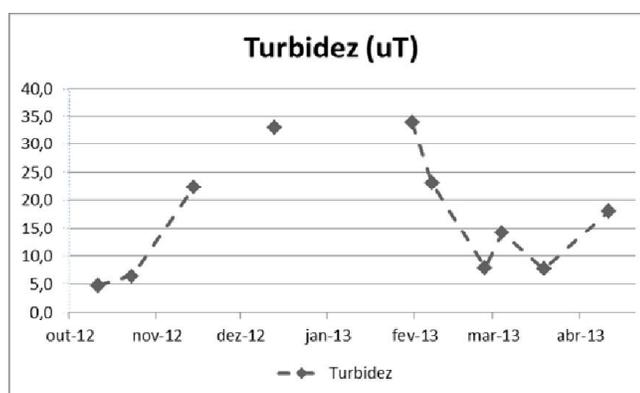


Figura 5.44 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Igarapé.

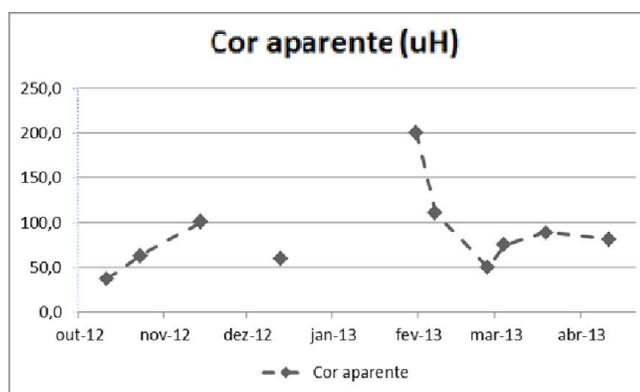
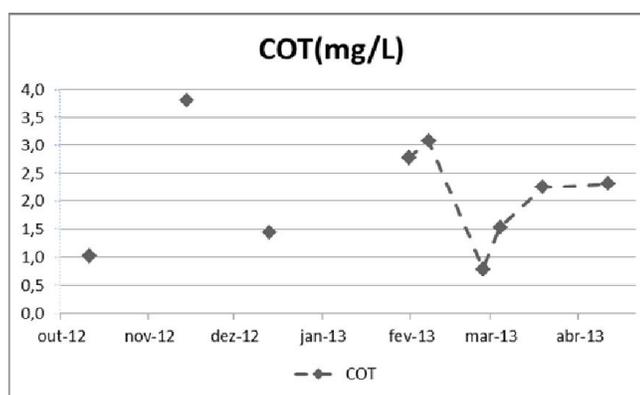


Figura 5.45 - Gráfico temporal dos valores de concentração de carbono orgânico total da água bruta afluente ao Sistema Igarapé.



Os valores de turbidez apresentam um mínimo de 4,7 uT e máximo de 34,8 uT, valor este tendo ocorrido no mês de fevereiro. A cor aparente tem comportamento da curva temporal semelhante ao parâmetro de turbidez.

No caso do carbono orgânico total verifica-se um valor extremo ocorrendo em novembro, mas entretanto há um comportamento semelhante no mês de fevereiro, em termos de valor máximo, se comparado aos parâmetros de turbidez e cor verdadeira.

5.1.10 Sistema Florestal

Na Tabela 5.10 é apresentada a estatística descritiva dos parâmetros monitorados na caracterização da água bruta do referido sistema.

Tabela 5.10 - Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na água bruta - Sistema Florestal.

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
N° dados	11	11	11	11	11
% faltantes	21%	21%	21%	21%	21%
Média aritmética	6,82	24,08	17,49	111,36	2,81
Média geométrica	6,81	24,01	12,26	73,72	2,50
Mediana	6,81	24,60	14,50	112,00	2,34
Percentil 10%	6,45	22,00	8,40	65,00	1,35
Percentil 90%	7,19	26,30	27,50	168,00	4,60
Desvio Padrão	0,39	1,98	12,28	64,94	1,40

Nas Figuras a seguir são apresentados os gráficos de séries temporais de cada parâmetro monitorado.

Figura 5.46 - Gráfico temporal dos valores de pH da água bruta afluente ao Sistema Florestal.

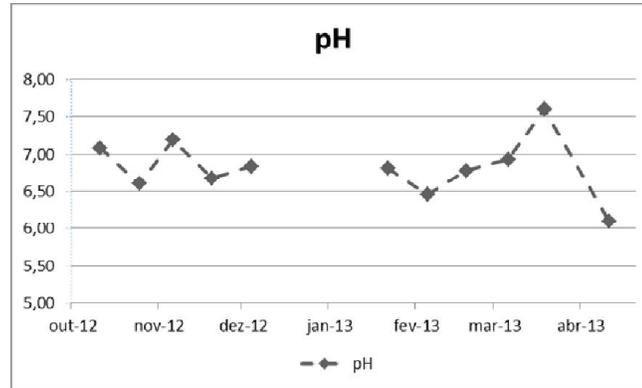


Figura 5.47 - Gráfico temporal dos valores de temperatura da água bruta afluente ao Sistema Florestal.

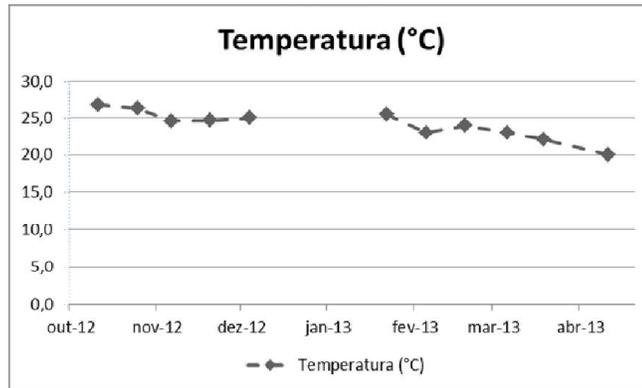


Figura 5.48 - Gráfico temporal dos valores de turbidez da água bruta afluente ao Sistema Florestal.

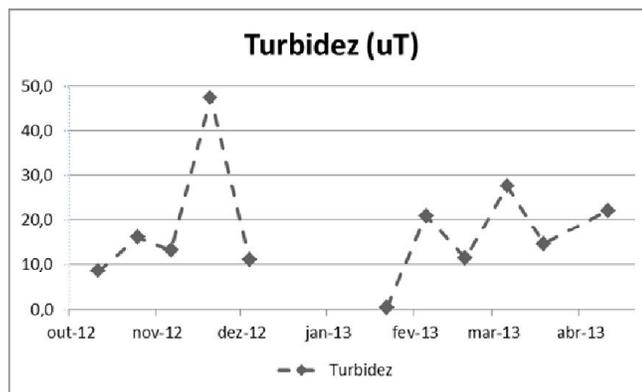


Figura 5.49 - Gráfico temporal dos valores de cor aparente da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.

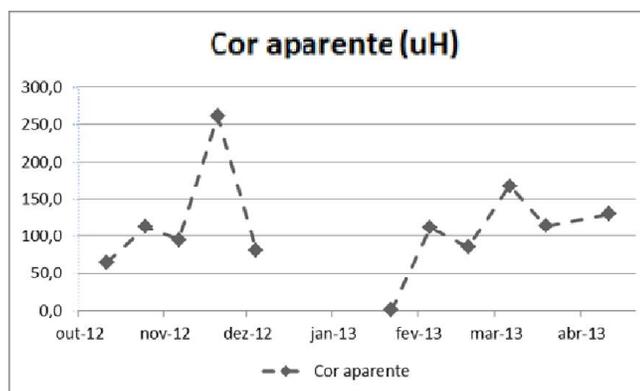
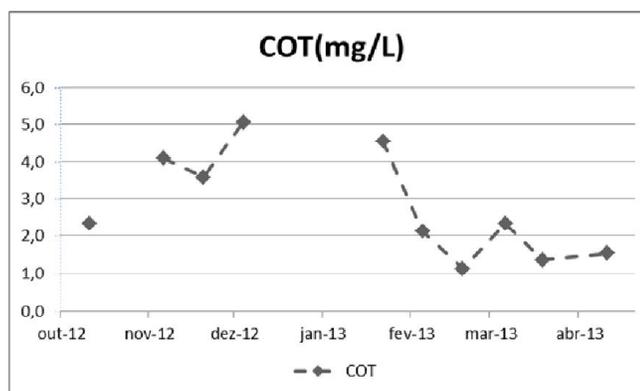


Figura 5.50 - Gráfico temporal dos valores de concentração de carbono orgânico total da água bruta afluyente ao Sistema Florestal.



Os valores de turbidez apresentam um mínimo de 0,5 uT e máximo de 48,0 uT, valor este tendo ocorrido no mês de novembro. A cor aparente tem comportamento da curva temporal semelhante ao parâmetro de turbidez.

No caso do carbono orgânico total verifica-se um valor extremo ocorrendo em dezembro, com máximo de 5,1 mg/L e apresentando valor mínimo de 1,2 mg/L em março.

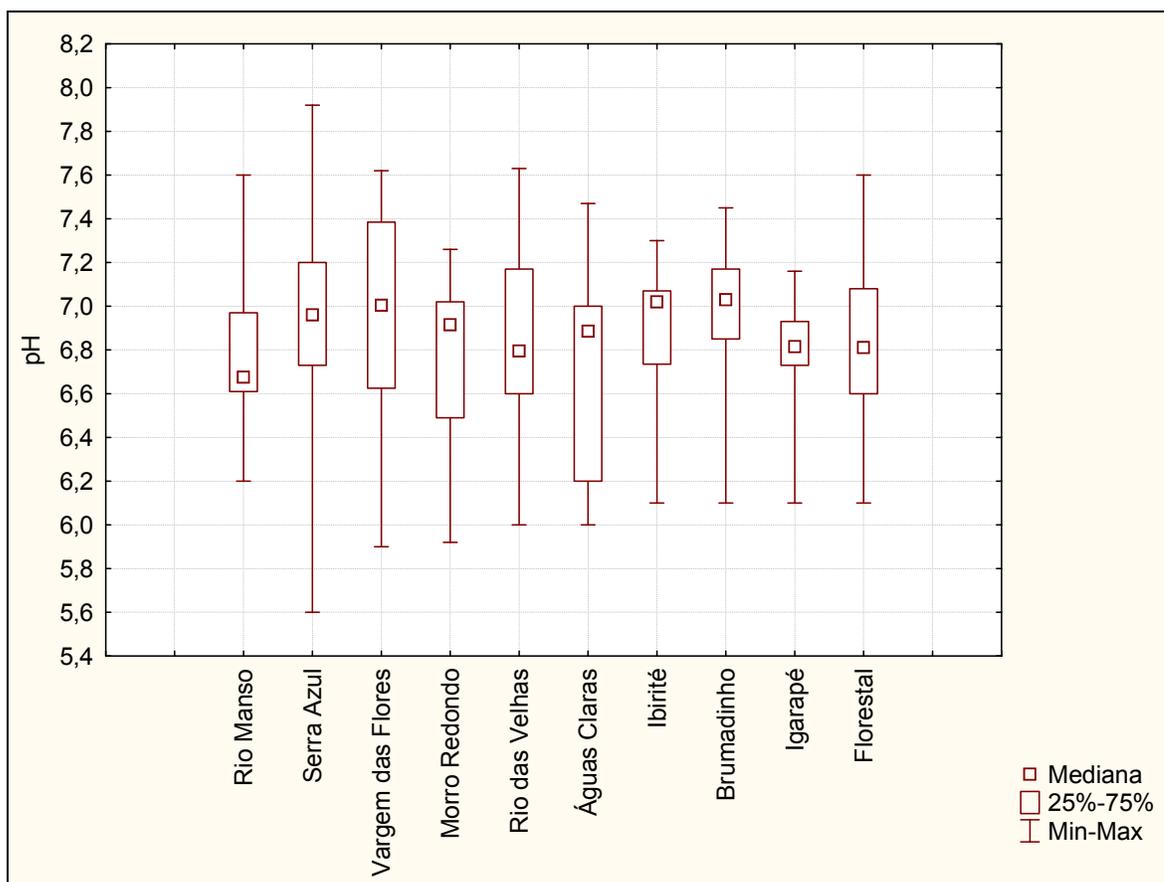
5.2 Caracterização Físico-Química da Água Bruta por Parâmetro

No presente item os resultados dos parâmetros físico-químicos; pH, temperatura, turbidez, cor aparente e COT são apresentados em gráficos do tipo *Box-whisker*, em que se tem uma visualização dos dados com base nas medidas de tendência central, ora representadas pelos valores de mediana de cada sistema, medidas de dispersão, ora representadas pelos valores máximos e mínimos e seus percentis, de 25% e 75%, respectivamente.

Cabe ressaltar que quando se vale da utilização de gráficos do tipo Box-whisker com um universo amostral pequeno (geralmente $n < 10$), corre-se o risco do gráfico ficar pouco informativo, o que pode ser confirmado com a porcentagem dos dados faltantes, referenciados nas tabelas da seção anterior. Entretanto os gráficos possibilitam verificar a tendência de comportamento dos dados, ainda que de forma pouco significativa estatisticamente.

Na Figura 5.51 tem-se a representação do parâmetro pH para os sistemas em estudo.

Figura 5.51 - Gráfico *Box-whisker* do pH da água bruta afluente aos sistemas de abastecimento da RMBH.

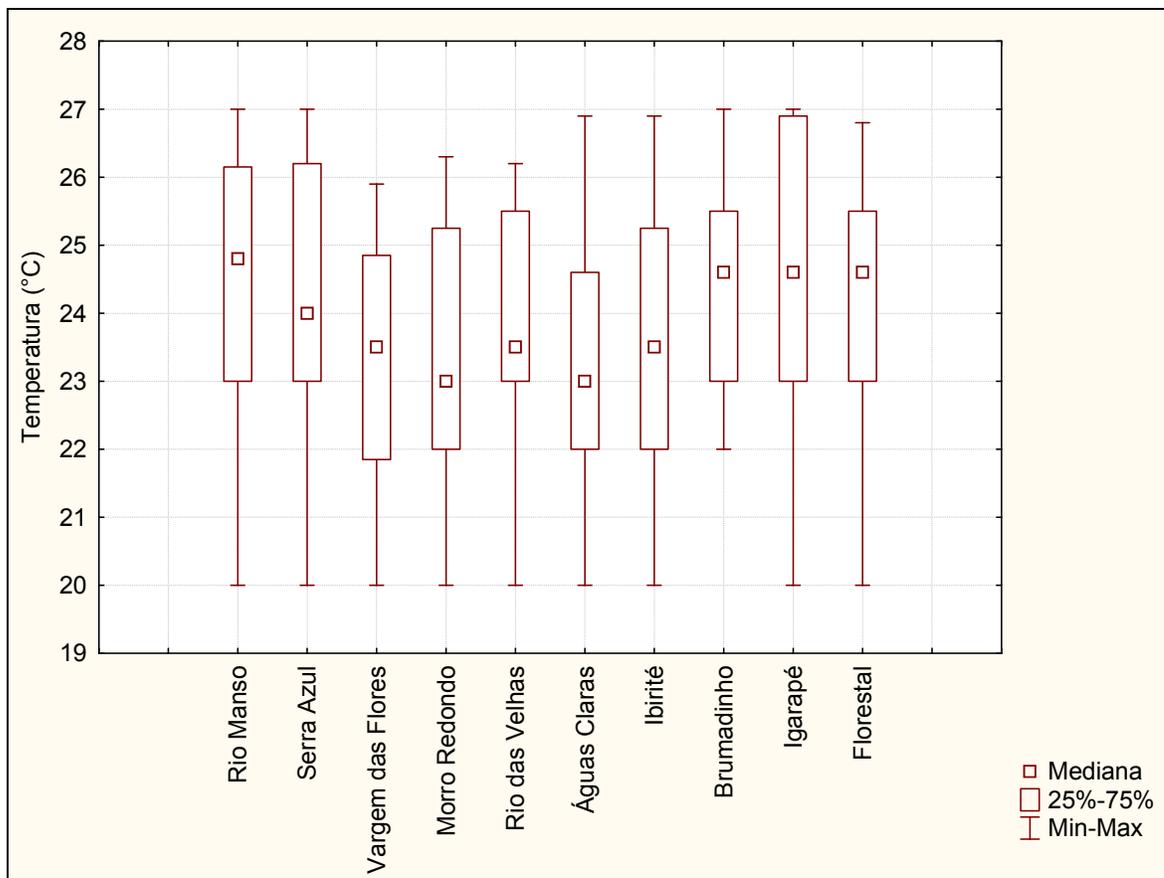


Percebe-se que o valor da mediana dos sistemas oscila entre pH 6,6 e 7,0, o que de acordo com o gráfico demonstra pouca variação entre os sistemas, sendo portanto, pouco provável seu comportamento em relação ao tipo de manancial (lótico ou lântico).

Contudo, vale ressaltar a importância do seu controle na água de abastecimento público, visto que o pH é um parâmetro de ação catalisadora para a formação de THM na água, dado o aumento deste potencial no meio.

Na Figura 5.52 a seguir tem-se a representação do parâmetro temperatura para os sistemas em estudo.

Figura 5.52 - Gráfico *Box-whisker* da temperatura da água bruta afluyente aos sistemas de abastecimento da RMBH.

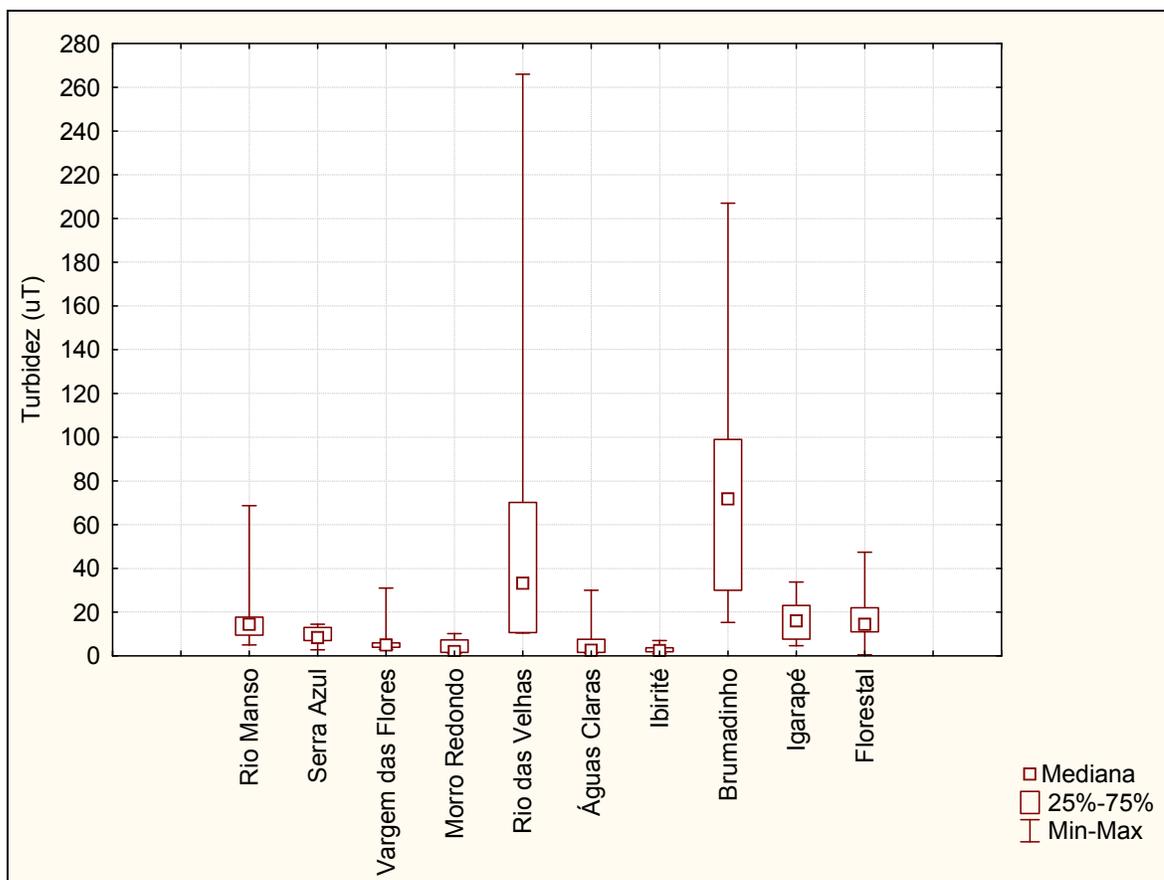


De acordo com a análise gráfica, os sistemas não apresentaram grandes variações de temperatura no período amostrado, ressaltando ser este o período (chuvoso) de temperaturas geralmente mais altas, notadamente entre os meses de outubro a março.

A mediana dos sistemas apresenta comportamento centrado na faixa entre 23 °C e 25 °C e neste sentido pouco se pode intuir sobre sua característica em relação ao tipo de manancial, se lótico ou lântico.

Na Figura 5.53 a seguir tem-se a representação do parâmetro turbidez para os sistemas em estudo.

Figura 5.53 - Gráfico *Box-whisker* da turbidez da água bruta afluente aos sistemas de abastecimento da RMBH.



Conforme mencionado na seção dos métodos, optou-se por não excluir os *outliers* e extremos, pelo fato de se tratar de um pequeno banco de dados e também por se caracterizar como valor factível para tal período da amostragem.

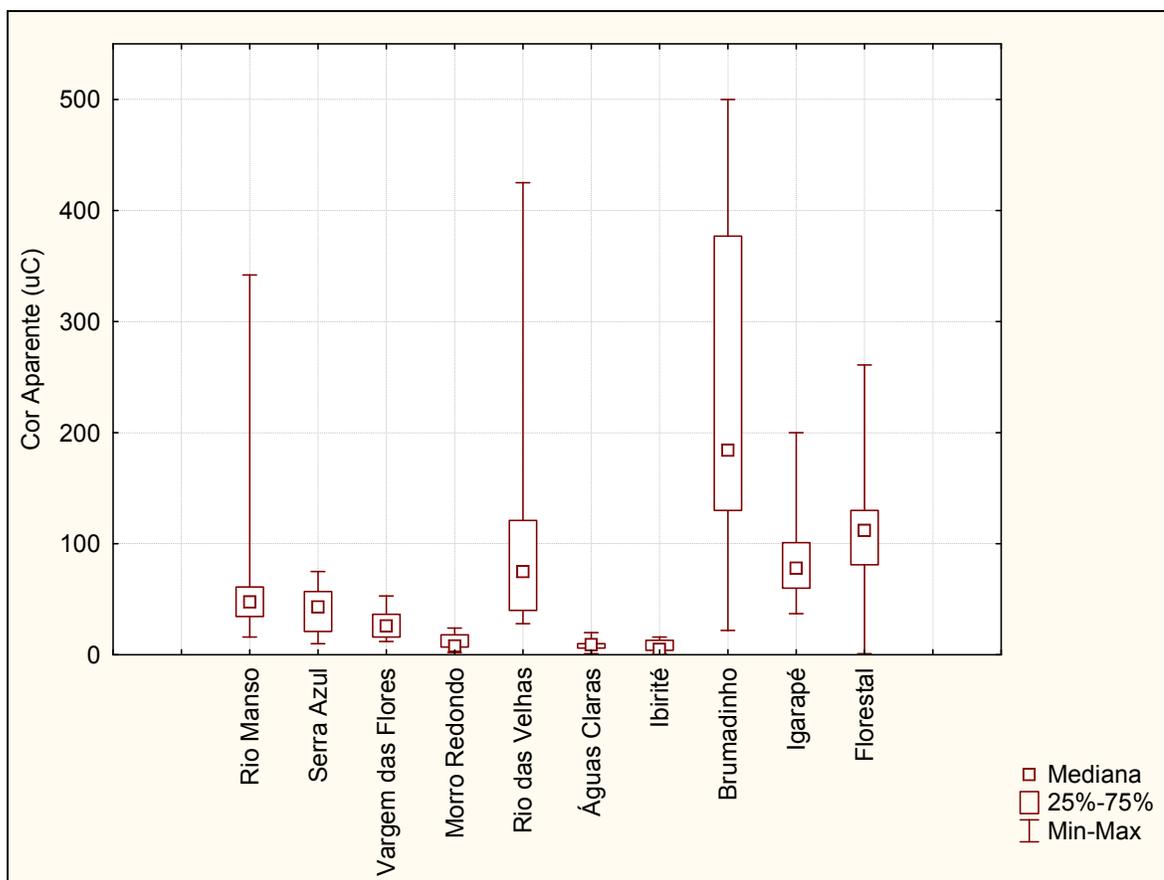
Na análise da turbidez, dois dos sistemas se destacam entre os demais, apresentando maiores valores de turbidez, a saber: o Sistema Rio das Velhas e o Sistema Brumadinho, que guardam por semelhança o tipo de manancial, do tipo lótico, que está mais propenso à maiores variações dos valores de turbidez, dada a época de amostragem em questão ser o período chuvoso.

Os sistemas que se abastecem por manancial lântico, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores, apresentaram baixos valores de turbidez, o que se justifica pela própria característica de captação, que propicia a adução de água bruta em diferentes níveis de profundidade do reservatório de acumulação. No entanto, alguns sistemas abastecidos por manancial lótico

também apresentaram baixos valores de turbidez e pequena variação no período de amostragem.

Na Figura 5.54 a seguir tem-se a representação do parâmetro cor aparente para os sistemas em estudo.

Figura 5.54 - Gráfico *Box-whisker* da cor aparente da água bruta afluente aos sistemas de abastecimento da RMBH.

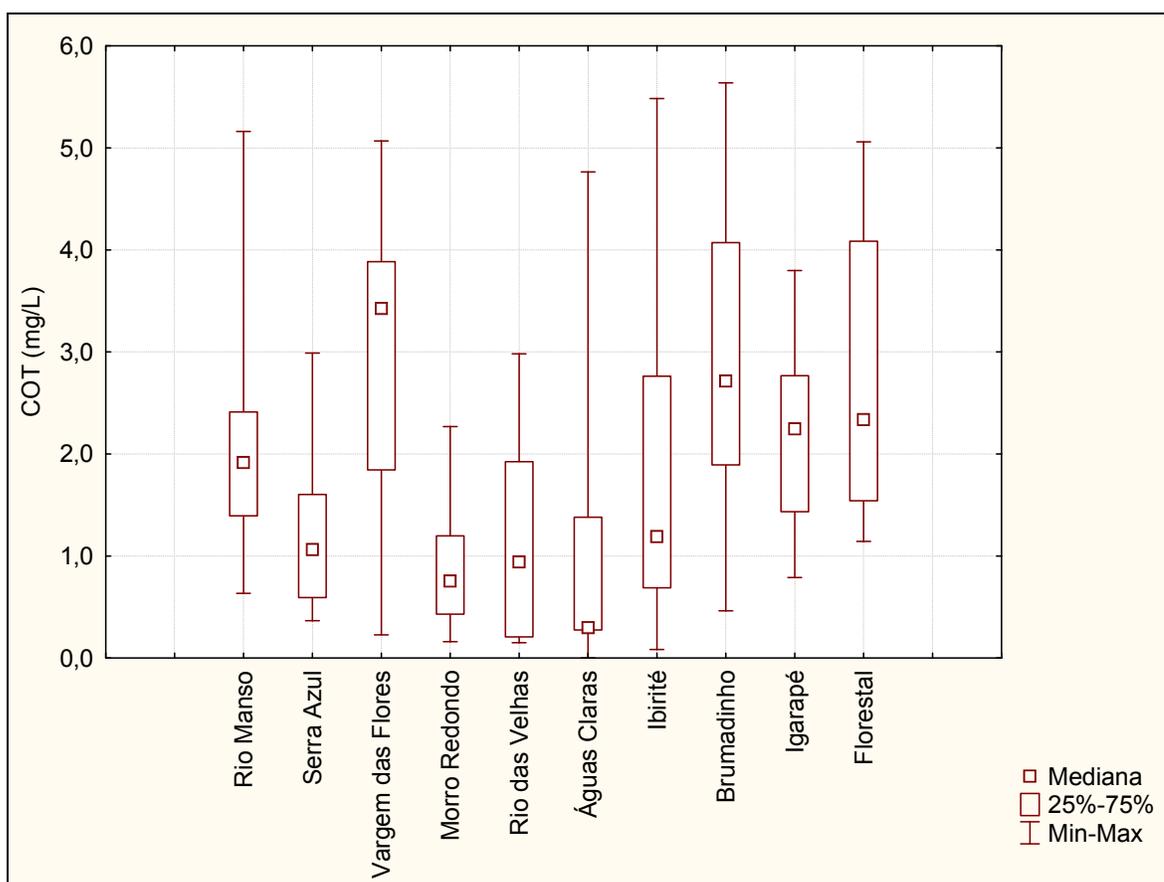


De acordo com a análise gráfica, os maiores valores de cor aparente ocorreram no Sistema Rio das Velhas e Sistema Brumadinho, resultado este em consonância com os dados obtidos para a turbidez, bem como para os demais sistemas em estudo. Tal correlação se justifica, tendo em vista que o parâmetro de cor aparente relaciona-se com os sólidos solubilizados ou em estado coloidal presentes no meio aquoso, podendo estes, por meio de interações físico-químicas, passar ao estado insolúvel, contribuindo assim para o resultado analítico quantitativo da turbidez.

Entretanto não se pode afirmar que a maior presença de partículas suspensas potencializa a formação de trihalometanos, uma vez que os resultados de turbidez e cor aparente não refletem fidedignamente as características das partículas presentes na água, não apontando, portanto, se há predominância de partículas orgânicas ou inorgânicas.

Na Figura 5.55 tem-se a representação do parâmetro carbono orgânico total (COT) para os sistemas em estudo.

Figura 5.55 - Gráfico *Box-whisker* do COT da água bruta afluente aos sistemas de abastecimento da RMBH.



Os valores de carbono orgânico total (COT) se mostram condizentes com valores típicos encontrados em águas de abastecimento.

Valores abaixo de 2,0 mg/L são considerados baixos (SINGER, 1994) e neste sentido, considerando a faixa de amplitude de valores mínimos e máximos, em todos os sistemas obteve-se algum resultado superior a 2,0 mg/L.

5.3 Formação de trialometanos por sistema

Conforme descrito nos métodos, os trialometanos quantificados foram: clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio.

No universo amostral foi frequente a relevância do clorofórmio dentre os demais compostos do grupo, tanto para amostras provenientes da água bruta (notadamente o potencial de formação de THM) quanto para água tratada (AT e RD). A maioria dos resultados apresentou apenas a presença do clorofórmio, e em raros casos, a presença incipiente de concentração de bromodiclorometano, que por vez se mostrou quase sempre muito próximo ao limite de detecção.

O primeiro trabalho sobre o tema realizado por Bellar *et al.* (1974) na água clorada proveniente do rio Ohio, nos Estados Unidos, apontou valores próximos a 95% de clorofórmio em relação aos resultados de THM.

Essa elevada concentração de clorofórmio pode ser explicada pelo maior teor de cloro residual na água devido ao processo de cloração utilizado na ETA e à provável baixa concentração de bromo na água bruta.

Desta forma, optou-se por mostrar os resultado em valores de trialometanos totais para todas as amostras.

No que tange a formação de trialometanos tem-se nas tabelas a seguir os valores quantificados do potencial de formação de THM (PFTHM) da água bruta e a concentração das espécies de THM na água tratada (AT) e da simulação de ponta de rede (RD) no período de amostragem com aplicação da estatística descritiva e de gráficos temporais em que se sobrepõem as concentrações de THM medidas nos pontos descritos.

5.3.1 Sistema Rio Manso

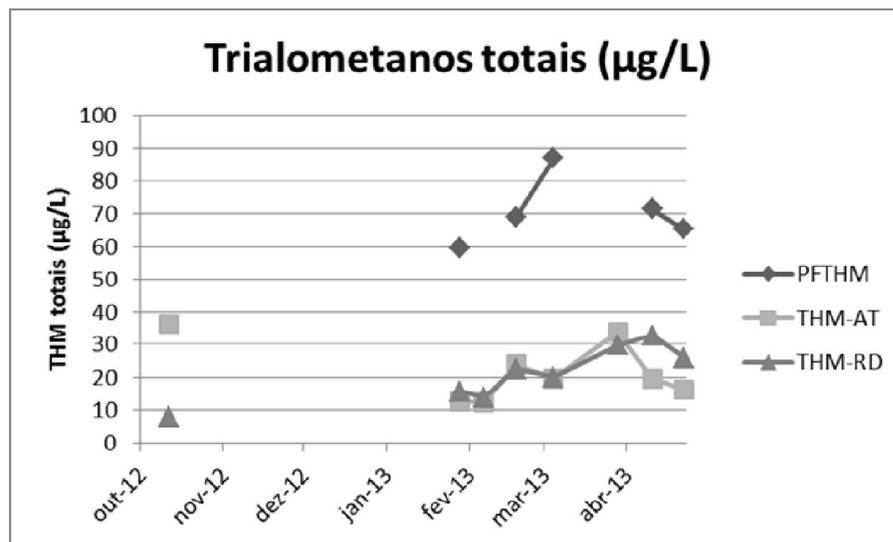
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.11 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio Manso.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	5	8	8
% faltantes	64%	43%	43%
Média aritmética	70,4	21,7	20,9
Média geométrica	69,9	20,2	19,2
Mediana	68,9	19,5	21,2
Percentil 10%	61,8	12,6	11,9
Percentil 90%	80,7	34,3	30,4
Desvio Padrão	10,3	9,0	8,4

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.56 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio Manso.



5.3.2 Sistema Serra Azul

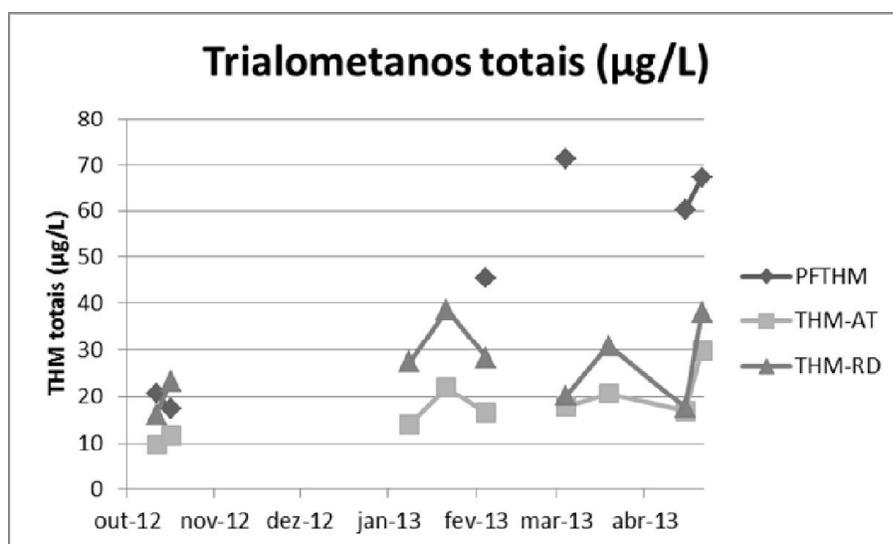
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.12 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Serra Azul.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	6	9	9
% faltantes	57%	36%	36%
Média aritmética	47,1	17,7	26,7
Média geométrica	41,0	16,8	25,6
Mediana	53,0	16,9	27,3
Percentil 10%	19,0	11,2	17,4
Percentil 90%	69,3	23,5	38,2
Desvio Padrão	23,4	6,0	8,2

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.57 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Serra Azul.



5.3.3 Sistema Vargem das Flores

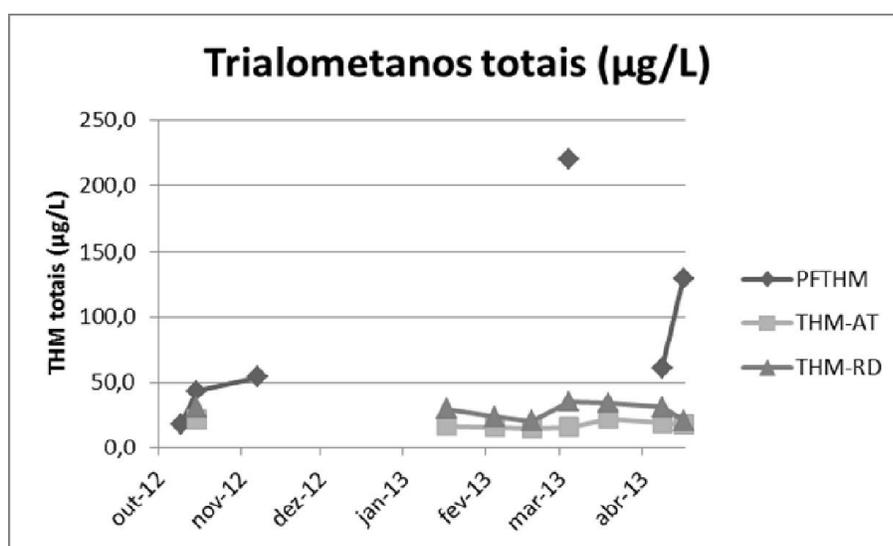
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.13 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Vargem das Flores.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	6	8	8
% faltantes	57%	43%	43%
Média aritmética	87,6	17,7	27,9
Média geométrica	64,3	17,6	27,3
Mediana	57,1	17,0	29,9
Percentil 10%	30,5	15,2	20,5
Percentil 90%	175,1	21,3	34,1
Desvio Padrão	75,0	2,7	5,7

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.58 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Vargem das Flores.



5.3.4 Sistema Morro Redondo

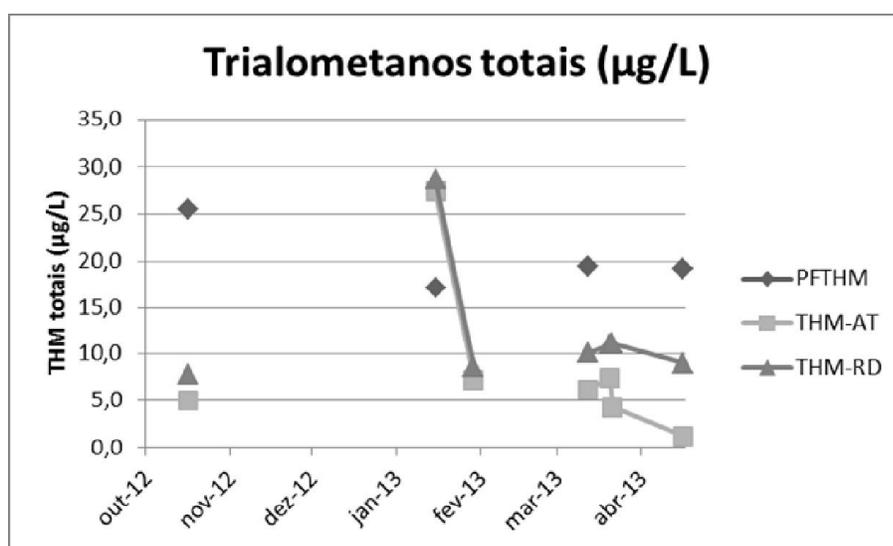
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.14 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Morro Redondo.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	4	7	7
% faltantes	71%	50%	50%
Média aritmética	20,3	8,4	12,3
Média geométrica	20,1	5,8	11,1
Mediana	19,4	6,2	10,1
Percentil 10%	17,7	3,1	8,3
Percentil 90%	23,6	15,4	18,1
Desvio Padrão	3,6	8,6	7,3

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.59 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Morro Redondo.



5.3.5 Sistema Rio das Velhas

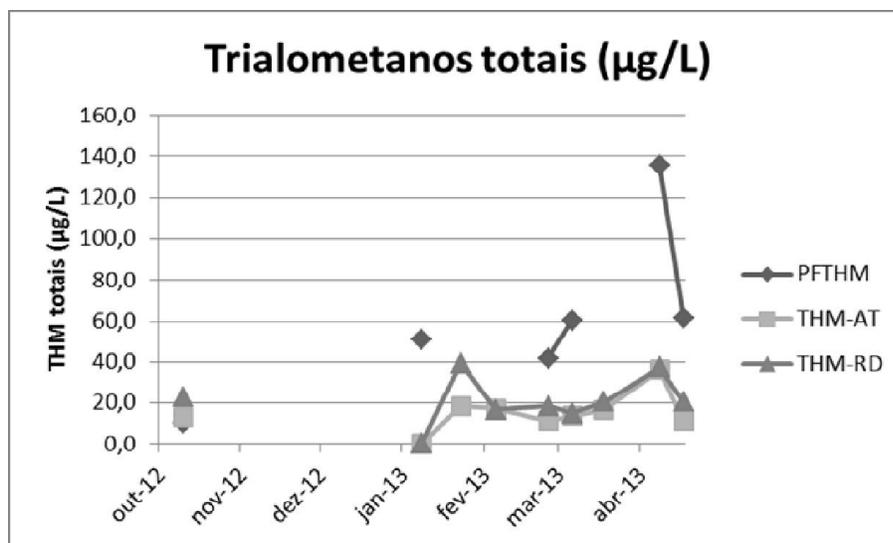
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.15 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio das Velhas.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	6	9	9
% faltantes	57%	36%	36%
Média aritmética	60,0	17,2	23,8
Média geométrica	46,9	15,9	22,4
Mediana	55,6	15,1	20,5
Percentil 10%	25,9	11,2	16,1
Percentil 90%	98,5	23,7	38,0
Desvio Padrão	41,5	8,2	9,3

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.60 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Rio das Velhas.



5.3.6 Sistema Águas Claras

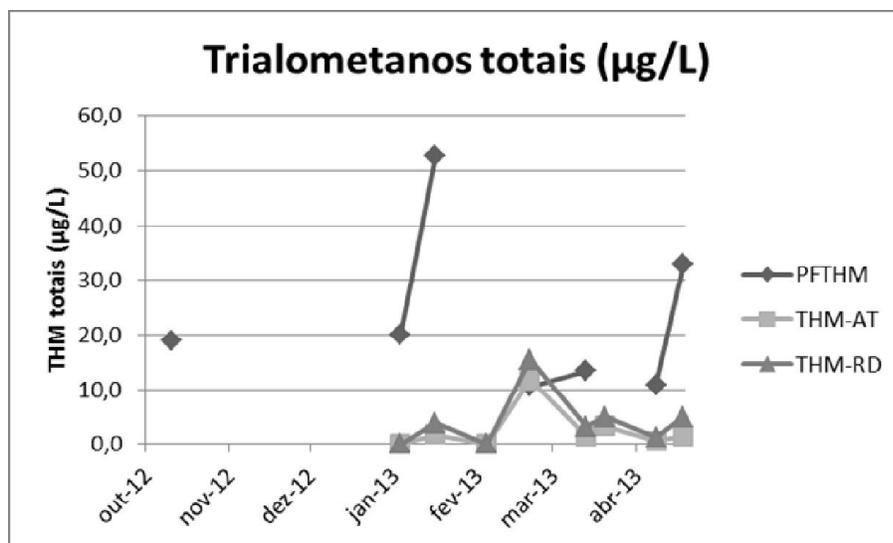
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.16 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Águas Claras.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	7	8	8
% faltantes	50%	43%	43%
Média aritmética	22,7	3,4	5,6
Média geométrica	19,3	2,1	4,2
Mediana	18,9	1,6	4,4
Percentil 10%	10,7	1,0	2,2
Percentil 90%	40,7	7,5	10,2
Desvio Padrão	15,2	4,2	5,0

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.61 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Águas Claras.



5.3.7 Sistema Ibirité

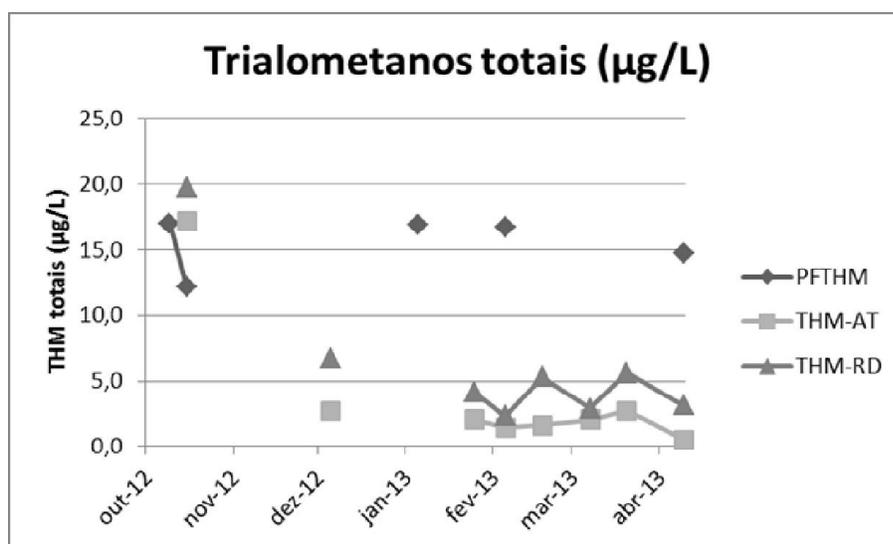
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.17 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Ibirité.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	5	8	8
% faltantes	64%	43%	43%
Média aritmética	15,5	3,8	6,2
Média geométrica	15,4	2,2	4,9
Mediana	16,7	2,0	4,7
Percentil 10%	13,2	1,1	2,7
Percentil 90%	17,0	7,1	10,6
Desvio Padrão	2,1	5,5	5,7

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.62 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Ibirité.



5.3.8 Sistema Brumadinho

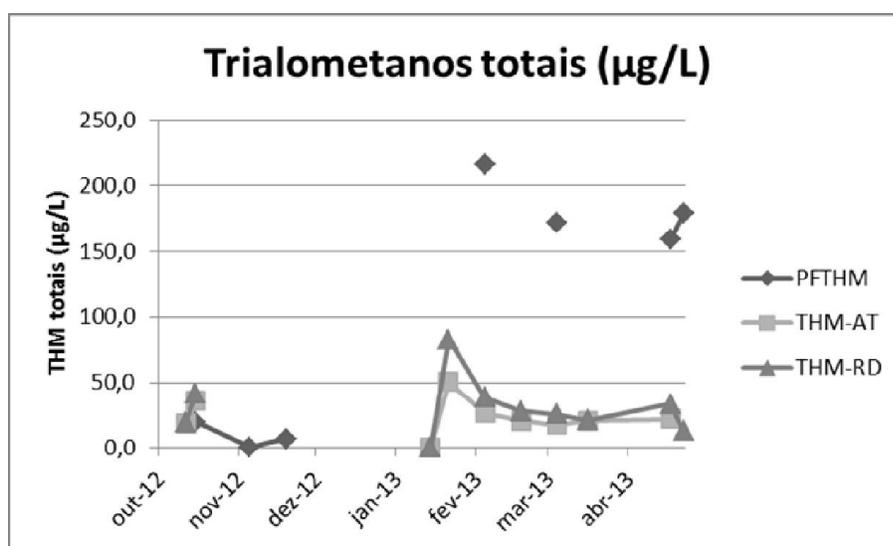
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.18 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Brumadinho.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	7	9	10
% faltantes	50%	36%	29%
Média aritmética	107,6	26,5	33,6
Média geométrica	37,7	24,8	29,4
Mediana	158,8	21,2	27,8
Percentil 10%	4,6	18,5	18,1
Percentil 90%	194,0	40,2	49,4
Desvio Padrão	93,9	11,2	20,5

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.63 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Brumadinho.



5.3.9 Sistema Igarapé

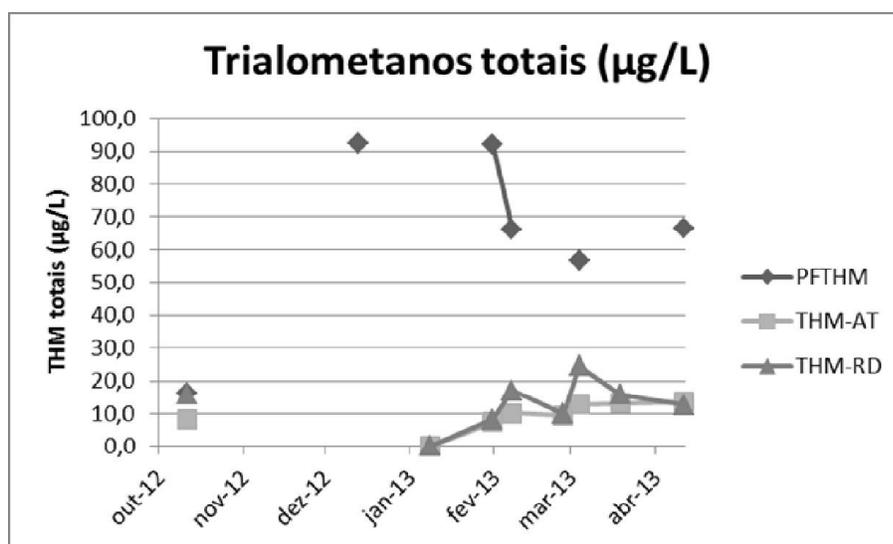
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.19 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Igarapé.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	6	8	8
% faltantes	57%	43%	43%
Média aritmética	57,1	10,3	14,0
Média geométrica	66,5	10,1	15,7
Mediana	36,5	7,7	9,2
Percentil 10%	92,2	13,3	20,0
Percentil 90%	28,0	2,6	5,4
Desvio Padrão	65,0	10,6	14,8

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.64 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Igarapé.



5.3.10 Sistema Florestal

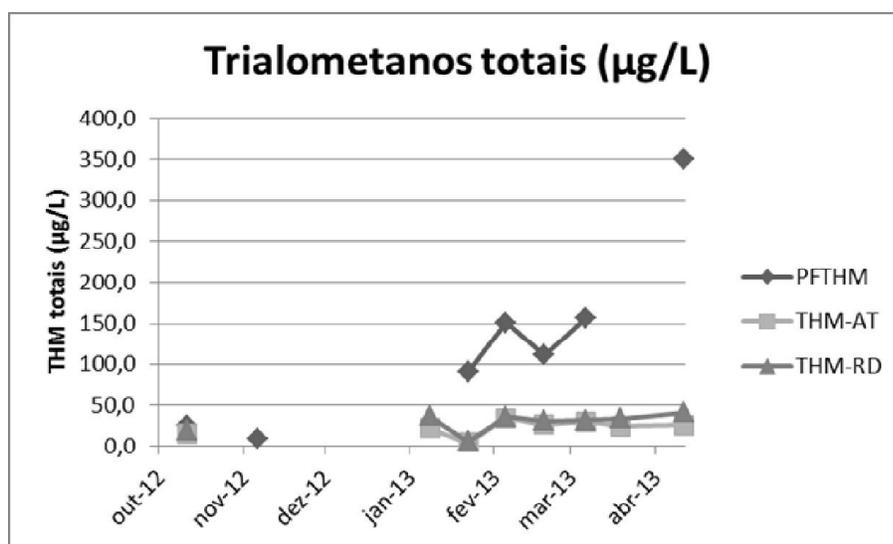
Na sequência tem-se a apresentação dos resultados de concentração de THM totais para amostras de estudo a partir da estatística descritiva ora representada na tabela a seguir.

Tabela 5.20 - Estatística descritiva referente à concentração de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) – Sistema Florestal.

Parâmetro	THM Totais		
	(µg/L)		
	PFTHM	AT	RD
N° dados	7	8	8
% faltantes	50%	43%	43%
Média aritmética	127,8	22,7	29,5
Média geométrica	79,1	19,7	26,1
Mediana	111,3	25,1	32,6
Percentil 10%	18,7	11,3	15,5
Percentil 90%	234,1	31,5	38,2
Desvio Padrão	113,6	9,5	11,3

Na figura a seguir tem-se o gráfico temporal de THM totais para o sistema em questão.

Figura 5.65 - Gráfico temporal dos valores de THM totais no ensaio de potencial de formação de THM (PFTHM), na saída ETA (AT) e na simulação da rede de distribuição (RD) - Sistema Florestal.

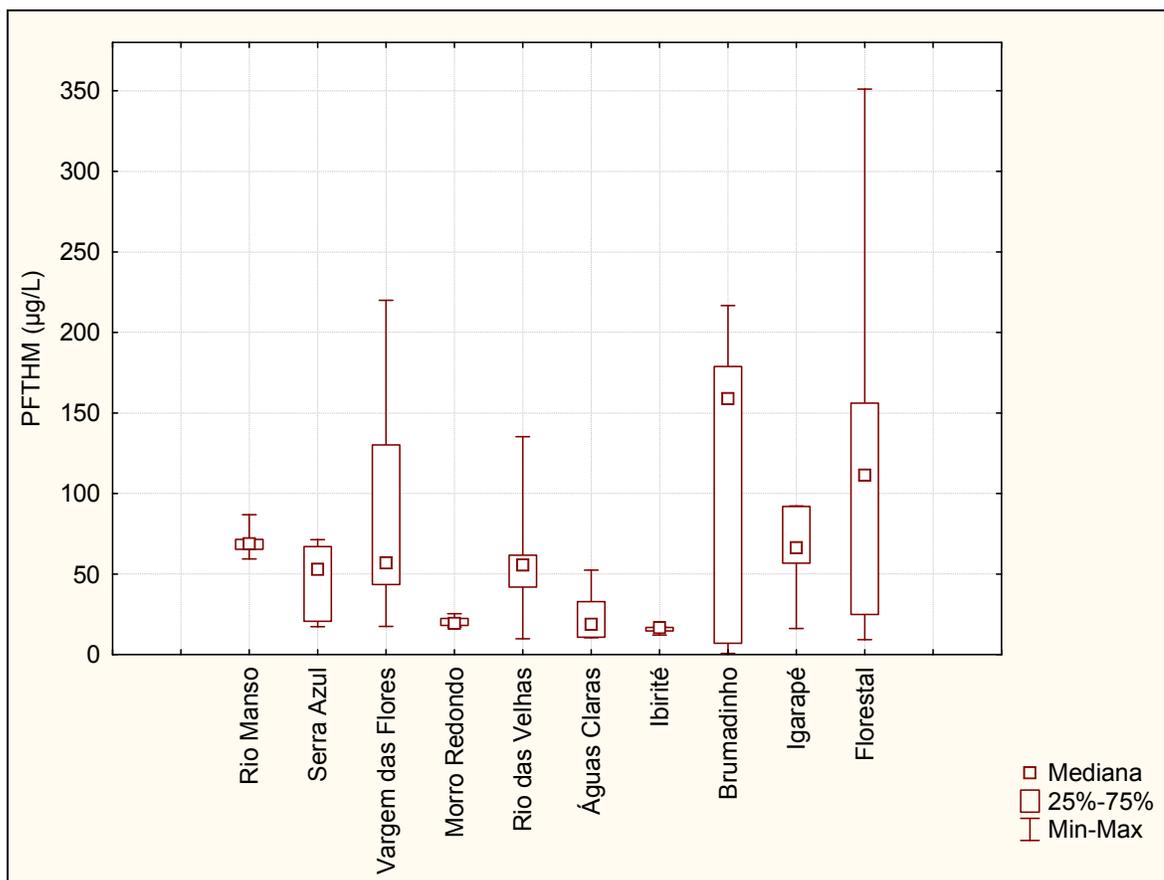


5.4 Formação de trialometanos por amostras

Como pôde ser percebido nas tabelas e figuras anteriores, a concentração de THM totais nas amostras do potencial de formação de THM se mostraram em valor superior às amostras provenientes da água tratada na saída da ETA e na simulação de rede de distribuição.

Na Figura 5.66 a seguir tem-se o gráfico *Box-whisker* para concentração de THM totais do potencial de formação de THM em cada sistema de estudo.

Figura 5.66 - Gráfico *Box-whisker* dos THM totais do Potencial de Formação de THM (PFTHM) dos sistemas de abastecimento da RMBH.



Cabe ressaltar que, conforme mencionado em seção anterior, quando se vale da utilização de gráficos do tipo Box-whisker com um universo amostral pequeno (geralmente $n < 10$), corre-se o risco do gráfico ficar pouco informativo. Entretanto os gráficos possibilitam verificar a tendência de comportamento dos dados, ainda que de forma pouco significativa estatisticamente.

Na análise do gráfico aparece com maior concentração o Sistema Florestal, chegando a apresentar pico de 350 µg/L de THM totais.

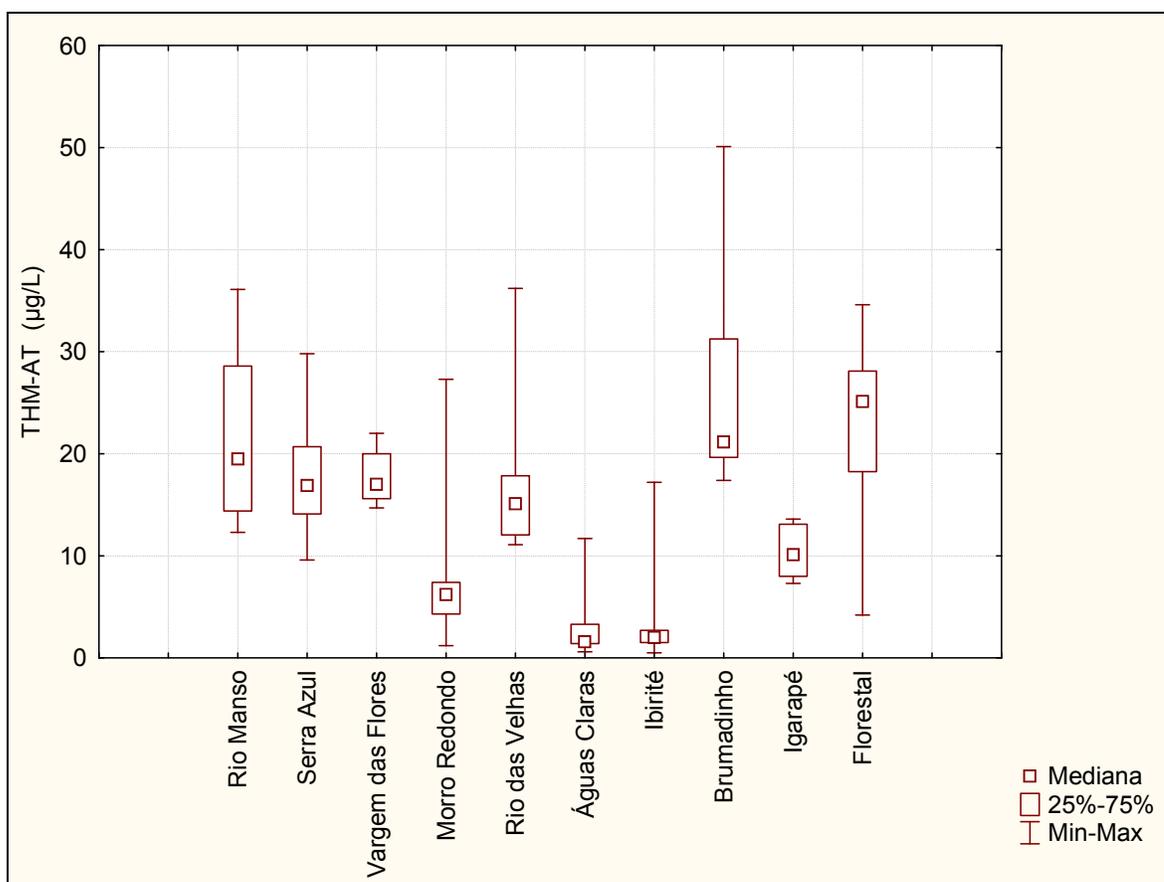
O parâmetro do potencial de formação de trialometano é de característica mais propensa à formação de THM em relação à água de abastecimento, por se ter valores muito superiores de concentração de cloro residual, sendo portanto este, um dos fatores que explica a superioridade do PFTHM em relação a água tratada e rede de distribuição em todos os sistemas em estudo.

Tem-se na sequência os sistemas Brumadinho, Rio das Velhas, Vargem das Flores, que apesar de apresentarem concentração de THM inferior ao sistema Florestal, estão acima do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, que estipula um valor de 0,1 mg/L para THM totais.

Para os sistemas Rio Manso, Serra Azul, Morro Redondo, Águas Claras e Ibitité contou-se com concentrações sempre abaixo do limite estipulado pela Portaria MS 2914/2011, sendo o Sistema Ibitité o que obteve menor valor em concentração de PFTHM.

Na Figura 5.67 a seguir tem-se a representação da contração de THM totais das amostras logo na saída da ETA dos sistemas em estudo.

Figura 5.67 - Gráfico *Box-whisker* dos THM totais das amostras na saída da ETA (AT) dos sistemas de abastecimento da RMBH.



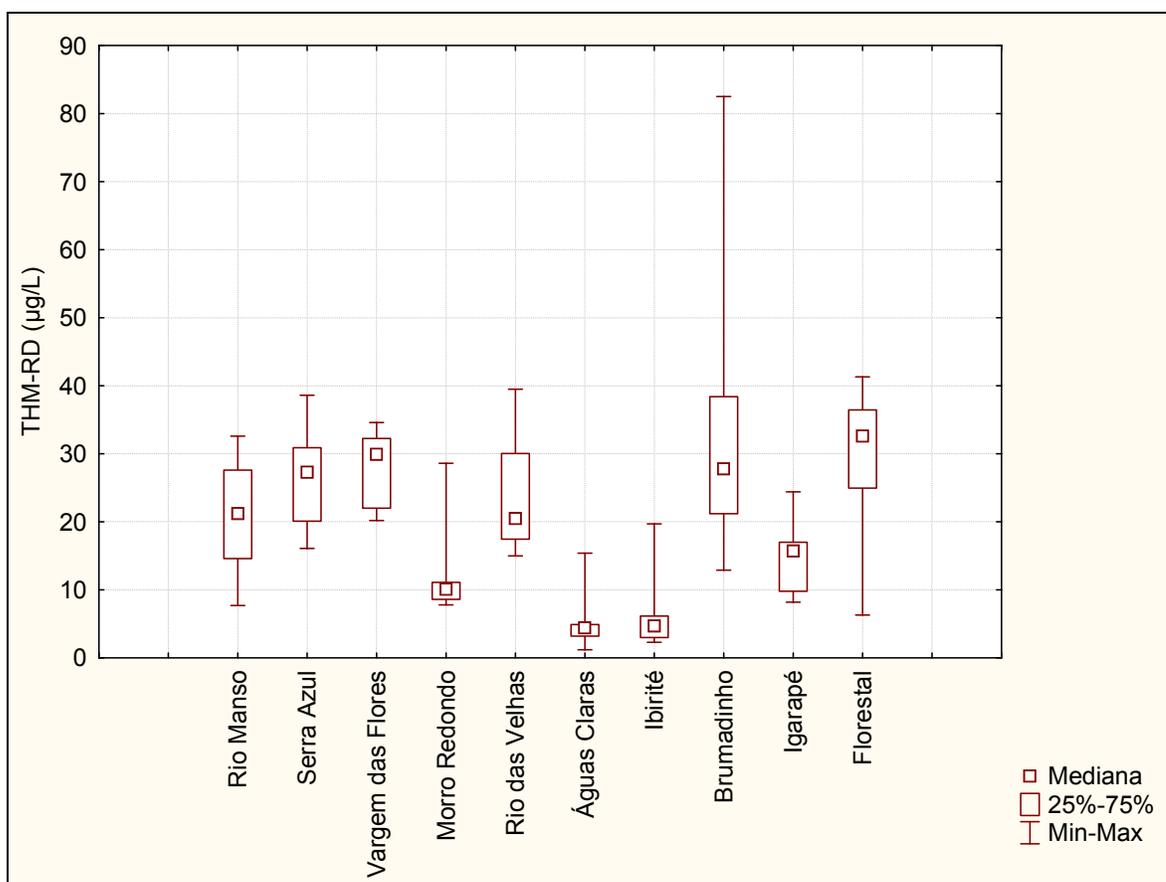
Conforme pode ser visto na figura anterior, em nenhum dos sistemas foi verificada a concentração de THM totais acima de 0,1 mg/L, referentes à Portaria 2914/2011.

Com base no gráfico não se pode inferir sobre a influência do tipo de manancial (lótico ou lântico) sobre a formação de trialometanos.

O sistema Brumadinho apresentou maior concentração de THM totais na simulação da ponta de rede do sistema de distribuição, apresentando máximo de 50 µg/L.

O Sistema Ibirité apresentou os menores valores medidos de concentração de trialometano, com a maioria de seus valores estando abaixo de 10 µg/L.

Figura 5.68 - Gráfico Box-whisker dos THM totais das amostras de simulação da rede de distribuição (RD) dos sistemas de abastecimento da RMBH.



O sistema Brumadinho apresentou maior concentração de THM totais na simulação da ponta de rede do sistema de distribuição, apresentando máximo de 80 µg/L.

Conforme há relatos na literatura (STEVENS e SYMONS, 1977; SINGER, 1994), a formação de THM tende a aumentar com o aumento do tempo de residência no sistema de distribuição de água, o que se observa na comparação entre as amostras logo na saída da ETA e as amostras de simulação de rede de distribuição.

No caso em questão, todos os sistemas apresentaram valor da simulação de ponta de rede de distribuição superior à saída da ETA, justamente sob o efeito do tempo de contato.

5.5 Fatores de influência do potencial de formação de trialometanos (PFTHM)

As correlações entre o potencial de formação de THM e suas variáveis de influência de formação foram investigadas por meio da matriz de correlação de Spearman.

Na Tabela 5.21 tem-se a correlação do potencial de formação de THM de cada sistema com os respectivos parâmetros de influência em sua formação.

Tabela 5.21 - Matriz de correlação de Spearman para amostragens do potencial de formação de trialometanos (PFTHM).

Parâmetro	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)
Rio Manso	-0,300	-0,667	0,200	0,200	0,700
Serra Azul	-0,714	-0,600	0,320	0,943	-0,086
Vargem das Flores	-0,771	-0,348	0,493	0,371	0,600
Morro Redondo	0,800	0,400	-0,200	0,800	0,000
Rio das Velhas	-0,771	-0,928	0,812	0,600	0,657
Águas Claras	0,143	0,486	0,571	-0,637	0,071
Ibirité	0,300	-0,300	0,100	-0,112	-0,300
Brumadinho	-0,613	0,000	-0,071	-0,036	-0,107
Igarapé	-0,371	0,029	0,886	0,371	0,257
Florestal	-0,786	-0,883	0,714	0,714	-0,643

Nota: Coeficientes em negrito e sublinhados são estatisticamente significativos, ao nível de significância de 5% ($p > 0,05$).

Com base na Tabela 5.21, considerando um nível de significância de 5% ($p > 0,05$), foram observadas poucas correlações. No parâmetro pH, foi observada correlação apenas para o Sistema de Florestal, se apresentando com uma correlação inversa.

A temperatura apresentou coeficiente de correlação significativa nos sistemas Rio das Velhas e Florestal, muito embora tenha apresentado relação inversa.

Tal indicação vai em desacordo aos resultados obtidos por Hua e Reckhow (2008), em situação que se verificou que a concentração de THM aumentou com o aumento de pH e temperatura.

O comportamento atípico de pH e temperatura quando de suas correlações inversas pode ser explicado pela defasagem entre o tempo de coleta e tempo de medição, que em alguns casos não ocorreram simultaneamente, sendo medidos tais parâmetros quando do recebimento das amostras em laboratório.

A turbidez apresentou coeficientes de correlação significativos para o potencial de formação de THM dos sistemas Rio das Velhas e Igarapé, sendo ambos mananciais lóticos.

A cor aparente apresentou coeficiente de correlação significativo para o potencial de formação de THM do sistema Serra Azul.

O parâmetro de carbono orgânico total (COT) não apresentou correlação com o potencial de formação de trialometanos, o que pode ser explicado pelo número limitado de dados obtidos deste parâmetro, bem como alguma imprecisão no processo de obtenção do dado.

Embora o efeito de cada parâmetro isolado não tenha fornecido um coeficiente de correlação estatisticamente significativo, a formação de trialometanos pode estar sendo influenciada também pelo efeito simultâneo das variáveis consideradas. Tendo em vista que este trabalho contemplou avaliação em escala real, não foi possível analisar isoladamente a influência dos diferentes fatores ambientais.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dos resultados do presente trabalho, conclui-se que:

- A concentração obtida para o potencial de formação de trialometanos em todos os sistemas foi superior aos valores verificados na água tratada e na simulação de rede de distribuição, sendo que os sistemas Florestal, Brumadinho, Rio das Velhas, Vargem das Flores, se apresentaram acima do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011, que estipula um valor de 0,1 mg/L para THM totais.
- De forma geral ficou constatado em todos os sistemas a validade do tempo de contato como fator preponderante na formação de THM, uma vez que nos mesmos, as amostras submetidas ao tempo de contato de 24 horas para simulação da rede de distribuição foram superiores aos valores de concentração de THM das amostras na saída da ETA.
- Embora as matrizes de correlação de Spearman não tenham fornecido coeficientes estatisticamente significativos com parâmetros de temperatura, pH, turbidez, cor aparente e COT em 88% dos resultados de correlação com o potencial de formação de trialometanos, sua formação pode estar sendo influenciada pelo efeito simultâneo de diversas variáveis, algumas das quais não medidas neste estudo.
- Com base nos dados, não há consistência estatística para atestar a influência do tipo de manancial na formação de trialometano.
- Apesar de análise temporal ter sido feita para um período relativamente curto, os resultados levam a crer que há comportamento distinto ao longo do ano que pode não ser aferido pela frequência de monitoramento estipulada pela Portaria 2914/11, que fixa o período trimestral.

Considerando a importância da minimização da formação de subprodutos em água para o abastecimento humano e o aprendizado do desenvolvimento desta pesquisa, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar o uso de desinfetantes alternativos e outras tecnologias de oxidação para evitar a formação dos subprodutos da cloração.
- Analisar as multivariáveis que influenciam a formação dos subprodutos da cloração, fazendo uma abordagem conjunta entre a concentração de COT, COD, pH,

temperatura, cor verdadeira, turbidez, fitoplâncton, condutividade elétrica e concentração de cloro e bromo.

- Diante dos custos envolvidos na determinação da concentração dos subprodutos, avaliar a frequência das amostragens das agências fiscalizadoras, visto que alguns mananciais apresentam alta formação de subprodutos e outros tem uma possibilidade de formação remota.
- Avaliar correlações indiretas para mananciais onde há formação constante de subprodutos, visando abaixar os custos envolvidos na determinação desses compostos.
- Avaliar a otimização de processos utilizados nas diversas ETAs estudadas e buscar soluções alternativas, como por exemplo utilização de ozonização para remoção da carga orgânica.
- Investigar a relação de subprodutos com algumas características do sedimento dos mananciais, bem como o uso e ocupação de sua bacia hidrográfica
- Proceder estudos que vislumbrem os ácidos haloacéticos, visto que os mesmo passaram a vigorar na Portaria 2914/2011.

REFERÊNCIAS

ALKHATIB, E.; PETERS, R. Wet weather impact on trihalomethane formation potential in tributaries to drinking water reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*. v. 139, p. 173-181. 2008.

ALVARENGA, J.A. Avaliação da Formação de Subprodutos da Cloração em Água para Consumo Humano. 100f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Meio Ambiente e Recursos Hídricos- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed.. Washington: APHA, 2005.

BELLAR, T. A.; LICHTENBERG, J. J.; KRONER, R. C. The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters. *Journal of American Water Works Association*, v. 66, n. 12, p. 703-706, 1974.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 36/MS/GM de 19 janeiro de 1990. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria36_19_01_90.pdf>

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>.

CANADA. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Summary Table. The Federal-Provincial-Territorial Subcommittee On Drinking Water of The Federal-Provincial-Territorial Committee On Environmental And Occupational Health, 2008. Disponível em <<http://www.hc-sc.gc.ca/waterquality>>.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais . Sistema de Cadastro e Produção de Água - SICPA. Relatório de Gestão, 2012.

DANIEL, L.A.; BRANDÃO, C.C.S.; GUIMARÃES, J.R.; LIBÂNIO, M.; DE LUCA, S.J. Métodos alternativos de desinfecção da água. Rede cooperativa de pesquisas – PROSAB: São Carlos: RiMa, 2001. 139 p.

DOYLE, T.J.; ZHENG, W.; CERHAN, J.R.; HONG, C.P.; SELLERS, T.A.; KUSHI, L.H.; FOLSOM, A.R. The association of drinking water source and chlorination by-products with cancer incidence among postmenopausal women in Iowa: a prospective cohort study. *American Journal of Public Health*, v.87, n.7, p.1168-1176, 1997.

EL-SHAHAT, M. F.; ABDEL-HALIM, S. H.; HASSAN, G. A. Factors Influencing the Formation of Trihalomethanes in Drinking Water Treatment Plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, v.67, p.535-549, 2001.

FERREIRA FILHO, S. S., Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trihalometanos em águas de abastecimento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 6, n. 1- 2, p. 53-60, jan/jun. 2001.

FERREIRA FILHO, S.S.; SAKAGUTI, M. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.13, n.2, p.198-206, 2008.

FOOLADVAND, M.; RAMAVANDI, B.; ZANDI, K.; ARDESTANI, M. Investigation of trihalomethanes formation potential in Karoon River water, Iran. *Environ Monit Assess*, v.178, p.63-71, 2010.

GOLFINOPOULOS, S.K.; NICOLAOU, A.D. Formation of DBPs in the drinking water of Athens, Greece: A ten-year study. *Global Nest Journal*, v.7, n.1, p.106-118, mar. 2005.

HACH COMPANY. Hach DR2800 - Spectrofotometer Procedures Manual. Hach Company, USA, 2007.

HUA, G.; RECKHOW, D.A.; DBP formation during chlorination and chloramination: Effect of reaction time, pH, dosage, and temperature. *Journal American Water Works Association*, v.100. n.8, p.82-95, 2008.

JOHNSON; S. O mapa fantasma: como a luta de dois homens contra o cólera mudou o destino de nossas metrópoles. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. 271 p.

KOMULAINEN, H. Experimental cancer studies of chlorinated by-products. *Toxicology*, v.198, p.239-248, 2004.

LATIFOGLU, A. Formation of trihalomethanes by the disinfection of drinking water. *Indoor and Built Environment*, v.12, n.6, p.413-417, 2003.

LIU, Z.; CUI, F.; MA, H.; FAN, Z.; ZHAO, Z. The role of nitrobenzene on the yield of trihalomethane formation potential in aqueous solutions with *Microcystis aeruginosa*. *Water Research*. v. 45, n. 19, p. 6489-6495. Dec, 2011.

MACÊDO, J.A.B.; ANDRADE, N.J.; CHAVES, J.B.P.; ARAÚJO, J.M.A.; SILVA, M.T.C.; JORDÃO, C.P. Formação de trihalometanos em soluções sanitizantes utilizadas no processo de desinfecção de indústrias de alimentação. *SANARE – Revista Técnica da Sanepar*, v.17, n.17, p.31-48, 2002.

MEYER, S.T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. *Caderno de Saúde Pública*, v.10, n.1, p.99-110, 1994.

MEXICO. SECRETARIA DE SALUD. PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-1994., Salud ambiental. Agua para uso y consumo

humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. DIARIO OFICIAL, 22 nov. 2000.

MOHAMED, A.E.; ALI, R.K. THMs formation during chlorination of raw Nile river water. *Water Research*, v.29, n.1, p.375-378, 1995

MOULY, D.; JOULIN, E.; ROSIN, C.; BEAUDEAU, P.; ABDELKRIM, Z.; AGNÈS, O.; MUNOZ, J. F.; BENEDICTE, W.; MICHEL, J.; SEUX, R.; MONTIEL, A.; RODRIGUEZ, M. Variations in trihalomethane levels in three French water distribution systems and the development of a predictive model. *Water Research*. V. 44, p.5168-5179. 2010.

NAP – NATIONAL ACADEMY PRESS. *Drinking water and health – Disinfectants and disinfectant by-products*. Washington: 1987. v.7. Disponível em: <<http://www.nap.edu/catalog/1008.html>>. Acesso em: 22 nov. 2012.

NIKOLAOU, A. D.; GOLFINOPOULOS, S. K.; LEKKAS, T. D.; ARHONDITSIS, G. B. Factors affecting the formation of organic by-products during water chlorination: a bench-scale study. *Water, Air, and Soil Pollution*. v. 159, p. 357-371. 2004.

NIEUWENHUIJSEN, M.J.; TOLEDANO, M.B.; EATON, N.E.; FAWELL, J.; ELLIOT, P. Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes: a review. *Occup Environ Med*; v.57, p.73–85. 2000.

PASCHOALATO, C.F.P.R.; TRIMAILOVAS, M.R.; DI BERNARDO, L. Formação de subprodutos orgânicos halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e peroxônio e pós-cloração em água contendo substância húmica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.13, n.3, p.313-322, 2008.

PORTER, C. K.; PUTNAM, S. D.; HUNTING, K. L.; RIDDLE, M. R. The Effect of Trihalomethane and Haloacetic Acid Exposure on Fetal Growth in a Maryland County. *American Journal of Epidemiology*., v.162, n.4, p.334-344, 2005.

RICHTER, C. A.; Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento: São Paulo: Editora Blücher, 2009. 340 p.

ROOK, J. J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water Treatment and Examination*, v. 23, p. 234-243, 1974.

ROOK, J. J. Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters. *Environmental Science Technology*, v.11, p. 478-482, 1977.

SANTOS, S. M.; GOUVEIA, N. Presença de trihalometanos na água e efeitos adversos na gravidez. *Revista Brasileira de Epidemiologia*., v.14, n.1, p.106-19, 2011.

SHANKS, C. M.; SÉRODES, J. B.; RODRIGUEZ, M. J.; Spatio-temporal variability of non-regulated disinfection by-products within a drinking water distribution network. *Water Research*, v.47, p.3231-3243, 2013.

SINGER, P.C. Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection by products. *Wat. Sci. Tech.*, v. 40, n. 9, p. 25-30, 1999.

STEVENS, A. A.; SLOCUM, C. J.; SEEGER, D. R.; ROBECK, G. G. Chlorination of organics in drinking water. *Journal American Water Works Association*, n.68, p. 615-620. 1976.

STEVENS, A.A.; SYMONS, J.M. Measurement of trihalomethane and precursor concentration changes. *Journal American Water Works Association*, p.546-554, 1977.

TOMINAGA, Y.T.; MIDIO, A.F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. *Revista de Saúde Pública*, v.33, n.4, p.413-421, 1999.

TRUSSEL, R.R., UMPHRES, M.D. The formation of trihalomethanes. *Journal of the American Water Works Association*, v. 70, n. 11, p.604-610, 1978.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Primary Drinking Water Regulations. USA, 2009. Disponível em: <<http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2012.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disinfection Byproduct Health Effects. USA, 2008. Disponível em: <http://www.epa.gov/enviro/html/icr/dbp_health.html>. Acesso em: 26 jan. 2012.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Determination of total organic carbon and specific uv absorbance at 254 nm in source water and drinking water, United States, 2003. Disponível em: < <http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-4153.pdf> >. Acesso em: 20 jun. 2012.

USEPA, Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, United States, 1999. Disponível em: <http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-4153.pdf>

UYGUNER, C. S.; HELLRIEGEL, C.; OTTO, W.; LARIVE, C. K. Characterization of humic substances: Implications for trihalomethane formation. *Anal Bioanal Chem*, v.378, p.1579-1586, 2004.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*, v.2, 2.ed, Geneva, 1996. 973 p.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Disinfectants and disinfectant by-products. Geneva, 2000. 499 p.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*, v.1, Recommendations. 3.ed. Geneva, 2004.

ZHANG, Y.; COLLINS, C.; GRAHAM, N.; TEMPLETON, M.R.; HUANG, J.; NIEUWENHUIJSEN, M. Speciation and variation in the occurrence of haloacetic acids in three water supply systems in England. *Water and Environment Journal*, v.24, p.237-245, 2009.

ZHANG, K-j.; GAO, N-y.; DENG, Y.; ZHANG, T.; LI, C. Aqueous Chlorination of Algal Odorants: Reaction Kinetics and Formation of Disinfection By-products. Separation and Purification Technology. Out, 2011.

APÊNDICE 1 – SISTEMA RIO MANSO

Quadro A1: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Rio Manso.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Brumadinho/11639	11/10/2012	7,08	26,8	5,0	16,0	1,3940	-	36,1	7,7
Brumadinho/11662	12/11/2012	6,70	24,6	16,4	47,0	2,0600	-	-	-
Brumadinho/11684	26/11/2012	6,60	25,0	10,0	22,0	1,5610	-	-	-
Brumadinho/11706	10/12/2012	6,64	25,0	9,0	34,0	1,9170	-	-	-
Brumadinho - 2013/23	21/01/2013	6,97	25,5	19,0	40,0	2,8190	-	-	-
Brumadinho - 2013/07	28/01/2013	6,97	27,0	14,0	51,0	2,0160	59,4	12,7	15,5
Brumadinho - 2013/39	06/02/2013	6,65	27,0	26,2	81,0	0,6348	-	12,3	13,7
Brumadinho - 2013/55	18/02/2013	6,62	24,0	15,0	56,0	1,7250	68,9	23,7	22,5
Brumadinho - 2013/71	04/03/2013	6,86	23,0	11,4	48,0	5,1620	86,9	19,5	19,9
Brumadinho - 2013/87	08/04/2013	7,60	22,0	68,7	342,0	-	-	33,5	29,5
Brumadinho - 2013/103	10/04/2013	6,20	20,0	15,8	66,0	2,4120	71,5	19,5	32,6
Brumadinho - 2013/119	22/04/2013	6,40	23,0	7,7	35,0	1,1590	65,4	16,1	25,7

Notas:

(-) = medida não realizada

APÊNDICE 2 – SISTEMA SERRA AZUL

Quadro A2: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Serra Azul.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Juatuba/11629	11/10/2012	7,92	26,4	2,9	23,0	1,6030	20,7	9,6	16,1
Juatuba/11630	16/10/2012	7,44	26,2	2,8	10,0	0,3661	17,3	11,6	23,4
Juatuba/11701	06/12/2012	6,97	25,0	7,0	14,0	1,0640	-	-	-
Juatuba - 2013/2	08/01/2013	7,20	24,0	8,3	24,0	1,0000	-	14,1	27,3
Juatuba - 2013/18	21/01/2013	6,96	25,5	7,0	21,0	2,989	-	21,9	38,6
Juatuba - 2013/34	04/02/2013	6,87	27,0	7,7	43,0	0,8324	45,6	16,5	28,2
Juatuba - 2013/50	18/02/2013	6,98	23,0	14,1	75,0	1,528	-	-	-
Juatuba - 2013/50	21/02/2013	6,08	24,0	13,0	51,0	0,5927	67,1	29,8	38,1
Juatuba - 2013/66	04/03/2013	6,73	23,0	14,5	65,0	0,5334	71,4	17,8	20,1
Juatuba - 2013/82	19/03/2013	6,92	22,0	10,5	47,0	2,589	-	20,7	30,9
Juatuba - 2013/98	16/04/2013	5,60	20,0	10,3	57,0	1,192	60,3	16,9	17,7

Notas:

(-) = medida não realizada

APÊNDICE 3 – SISTEMA VARGEM DAS FLORES

Quadro A3: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Vargem das Flores.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Betim/11632	09/10/2012	7,62	21,7	3,0	15,0	1,9290	17,5	-	-
Betim/11631-1	15/10/2012	7,50	25,9	3,9	20,0	0,2271	43,5	21,0	30,6
Betim/11658	07/11/2012	7,40	24,6	5,0	34,0	3,6460	53,8	-	-
Betim/11680	19/11/2012	7,37	24,7	9,3	39,0	3,8580	-	-	-
Betim/11680	19/11/2012	7,37	24,7	9,3	39,0	3,8580	-	-	-
Betim/11702	06/12/2012	6,64	25,0	4,0	14,0	3,7510	-	-	-
Betim - 2013/19	17/01/2013	6,79	25,5	31,0	53,0	4,7720	-	16,7	29,3
Betim - 2013/35	04/02/2013	6,88	23,0	5,0	12,0	3,1000	-	15,8	23,4
Betim - 2013/51	18/02/2013	6,61	24,0	5,2	17,0	1,7600	-	14,7	20,2
Betim - 2013/67	04/03/2013	7,13	23,0	6,7	32,0	5,0680	220,0	15,4	34,6
Betim - 2013/83	19/03/2013	7,25	22,0	5,1	33,0	3,9130	-	22,0	33,9
Betim - 2013/99	08/04/2013	5,90	20,0	4,0	48,0	1,3470	60,3	19,0	30,5
Betim - 2013/115	16/04/2013	6,00	20,0	3,0	18,0	3,2070	130,2	17,3	20,6

Notas:

(-) = medida não realizada

APÊNDICE 4 – SISTEMA MORRO REDONDO

Quadro A4: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Morro Redondo.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Morro Redondo/11645-1	16/10/2012	7,26	26,3	1,2	8,0	0,6821	25,4	5,0	7,8
Morro Redondo/11687	30/11/2012	5,92	25,0	-	-	0,5655	-	-	-
Morro Redondo - 2013/10	15/01/2013	6,88	25,5	2,0	2,0	1,1760	17,1	27,3	28,6
Morro Redondo - 2013/26	29/01/2013	7,04	23,0	10,2	17,0	0,1612	-	7,2	8,6
Morro Redondo - 2013/74	12/03/2013	6,89	23,0	7,3	24,0	2,2690	19,5	6,2	10,1
Morro Redondo - 2013/90	21/03/2013	7,00	22,0	1,7	18,0	1,2180	-	4,3	11,1
Morro Redondo - 2013/42	20/03/2013	6,94	22,0	1,6	7,0	0,8268	-	7,4	11,0
Morro Redondo - 2013/106	16/04/2013	6,10	20,0	3,0	7,0	0,2949	19,2	1,2	9,0

Notas:

(-) = medida não realizada

APÊNDICE 5 – SISTEMA RIO DAS VELHAS

Quadro A5: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Rio das Velhas.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Nova Lima/11644-1	10/10/2012	7,52	25,7	10,7	40,0	0,9420	9,9	12,9	22,8
Nova Lima/11643	22/10/2012	6,60	26,2	22,5	75,0	-	-	-	-
Nova Lima-2013/9	08/01/2013	6,84	24,8	36,2	121,0	0,3477	50,7	<1	<1
Nova Lima-2013/25	23/01/2013	6,99	25,5	140,0	425,0	0,1987	-	18,4	39,5
Nova Lima - 2013/41	05/02/2013	6,17	23,0	53,0	28,0	0,1508	-	17,3	16,6
Nova Lima - 2013/57	25/02/2013	6,75	24,0	10,7	36,0	0,2074	41,9	11,1	18,3
Nova Lima - 2013/73	06/03/2013	7,17	23,0	70,2	165,0	2,9820	60,5	13,4	15,0
Nova Lima - 2013/89	18/03/2013	7,63	22,0	10,5	52,0	1,9240	-	16,8	20,4
Nova Lima - 2013/105	08/04/2013	6,00	20,0	266,0	-	2,1400	135,3	36,2	37,3
Nova Lima - 2013/121	17/04/2013	6,60	23,0	30,2	82,0	1,1770	61,7	11,2	20,6

Notas:

(-) = medida não realizada

(<1) = abaixo do limite de detecção do aparelho

APÊNDICE 6 – SISTEMA ÁGUAS CLARAS

Quadro A6: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Águas Claras.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Nova Lima/11633	10/10/2012	7,40	20,9	10,0	9,0	0,1680	18,9	-	-
Nova Lima/11634	24/10/2012	6,20	26,9	30,0	10,0	-	-	-	-
Nova Lima-2013/4	03/01/2013	6,00	24,6	2,5	-	1,3800	20,0	-	<1
Nova Lima - 2013/20	16/01/2013	7,00	25,5	3,0	4,0	1,4210	52,5	1,8	3,9
Nova Lima - 2013/52	20/02/2013	6,82	24,0	1,3	7,0	0,2968	10,5	11,7	15,4
Nova Lima - 2013/36	04/02/2013	6,97	23,0	7,6	1,0	0,2750	-	<1	<1
Nova Lima 2013/68	13/03/2013	6,95	23,0	2,7	9,0	0,0009	13,4	1,4	3,2
Nova Lima - 2013/84	20/03/2013	7,47	22,0	1,6	11,0	0,8224	-	3,3	4,9
Nova Lima - 2013/100	08/04/2013	6,20	20,0	1,5	20,0	4,7650	10,8	0,6	1,2
Nova Lima - 2013/116	18/04/2013	6,70	23,0	2,2	6,0	0,2838	32,9	1,4	4,9

Notas:

(-) = medida não realizada

(<1) = abaixo do limite de detecção do aparelho

APÊNDICE 7 – SISTEMA IBIRITÉ

Quadro A7: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Ibirité.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Ibirité/11649	09/10/2012	7,30	21,1	5,0	5,0	0,3670	17,0	-	-
Ibirité/11650-1	15/10/2012	7,29	26,9	2,5	5,0	0,7359	12,2	17,2	19,7
Ibirité/11667	09/11/2012	7,00	24,6	3,5	1,0	2,6360	-	-	-
Ibirité/11689	30/11/2012	6,61	25,0	7,0	16,0	0,6880	-	-	-
Ibirité/11711	05/12/2012	7,04	22,0	1,8	7,0	-	-	2,7	6,7
Ibirité - 2013/12	08/01/2013	7,06	25,5	1,0	2,0	1,2610	16,9	-	-
Ibirité - 2013/28	25/01/2013	7,00	25,5	4,0	-	0,9930	-	2,0	4,1
Ibirité - 2013/44	05/02/2013	7,08	23,0	2,3	5,0	0,0841	16,7	1,4	2,3
Ibirité - 2013/60	18/02/2013	6,80	24,0	1,7	5,0	5,4840	-	1,6	5,3
Ibirité - 2013/76	07/03/2013	6,67	23,0	3,1	13,0	1,1890	-	2,0	2,9
Ibirité - 2013/92	20/03/2013	7,05	22,0	2,0	15,0	3,0320	-	2,7	5,6
Ibirité - 2013/108	09/04/2013	6,10	20,0	2,0	4,0	2,7630	14,7	0,5	3,1

Notas:

(-) = medida não realizada

APÊNDICE 8 – SISTEMA BRUMADINHO

Quadro A8: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Brumadinho.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Brumadinho/11637	11/10/2012	7,21	26,6	15,3	108,0	0,4629	-	18,9	19,4
Brumadinho/11638	15/10/2012	7,17	26,8	117,0	500,0	4,0720	19,7	36,0	41,1
Brumadinho/11661	05/11/2012	7,17	24,6	99,0	450,0	3,7760	0,7	-	-
Brumadinho/11681	19/11/2012	7,35	24,6	25,3	22,0	2,7150	7,1	-	-
Brumadinho/11705	03/12/2012	6,92	25,0	30,0	155,0	2,5080	-	-	-
Brumadinho- 2013/6	14/01/2013	7,08	25,5	170,0	-	5,6380	-	<1	<1
Brumadinho - 2013/22	21/01/2013	7,03	25,5	207,0	-	4,7080	-	50,1	82,5
Brumadinho - 2013/38	04/02/2013	6,85	27,0	87,0	377,0	1,8930	216,7	26,5	38,4
Brumadinho - 2013/54	18/02/2013	6,97	24,0	16,0	130,0	1,5710	-	20,4	27,8
Brumadinho - 2013/70	04/03/2013	6,78	23,0	35,7	184,0	3,3570	171,4	17,4	25,6
Brumadinho -2013/86	08/04/2013	7,45	22,0	97,8	367,0	1,9230	-	20,4	21,2
Brumadinho -2103/118	17/04/2013	6,10	22,0	37,0	154,0	1,3290	158,8	21,9	33,3
Brumadinho - 2013/102	22/04/2013	6,30	23,0	71,7	299,0	4,5150	178,9	<1	12,9

Notas:

(-) = medida não realizada

(<1) = abaixo do limite de detecção do aparelho

APÊNDICE 9 – SISTEMA IGARAPÉ

Quadro A9: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Igarapé.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Igarapé/11656-1	11/10/2012	7,16	26,9	4,7	37,0	1,0210	16,3	8,0	15,7
Igarapé/11655	23/10/2012	6,60	26,9	6,4	63,0	-	-	-	-
Igarapé/11670	14/11/2012	6,73	24,6	22,4	101,0	3,7980	-	-	-
Igarapé/11714	13/12/2012	6,90	24,6	32,9	60,0	1,4350	92,3	-	-
Igarapé-2013/15	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	<1	<1
Igarapé-2013/31	31/01/2013	6,93	27,0	33,8	200,0	2,7680	92,0	7,3	8,2
Igarapé - 2013/47	07/02/2013	7,09	27,0	23,1	111,0	3,0720	66,3	10,1	17,0
Igarapé - 2013/63	26/02/2013	6,73	24,0	7,9	50,0	0,7893	-	9,3	9,8
Igarapé - 2013/79	04/03/2013	6,73	23,0	14,1	75,0	1,5280	56,8	12,8	24,4
Igarapé - 2013/95	19/03/2013	6,92	22,0	7,7	89,0	2,2450	-	13,1	15,8
Igarapé - 2013/111	11/04/2013	6,10	20,0	18,0	81,0	2,3070	66,6	13,6	12,6

Notas:

(-) = medida não realizada

(<1) = abaixo do limite de detecção do aparelho

APÊNDICE 10 – SISTEMA FLORESTAL

Quadro A10: Monitoramento realizado no Sistema de abastecimento Florestal.

Amostra/Código	Data coleta	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	PFTHM (µg/L)	TTHM-AT (µg/L)	TTHM-RD (µg/L)
Florestal/11654	11/10/2012	7,08	26,8	8,4	65,0	2,3410	24,9	14,4	19,4
Florestal/11653	25/10/2012	6,60	26,3	15,9	113,0	-	-	-	-
Florestal/11691	06/11/2012	7,19	24,6	13,1	95,0	4,0850	9,3	-	-
Florestal/11669	20/11/2012	6,68	24,7	47,4	261,0	3,5830	-	-	-
Florestal/11713	04/12/2012	6,84	25,0	11,0	81,0	5,0590	-	-	-
Florestal-2013/14	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	22,1	36,9
Florestal - 2013/30	22/01/2013	6,81	25,5	0,5	1,0	4,5470	90,8	4,2	6,3
Florestal - 2013/46	05/02/2013	6,45	23,0	20,8	112,0	2,1200	151,0	34,6	36,0
Florestal - 2013/62	19/02/2013	6,78	24,0	11,3	85,0	1,1440	111,3	26,1	30,5
Florestal - 2013/78	06/03/2013	6,93	23,0	27,5	168,0	2,3290	156,1	30,1	31,8
Florestal - 2013/94	19/03/2013	7,60	22,0	14,5	114,0	1,3730	-	24,3	33,4
Florestal - 2013/110	11/04/2013	6,10	20,0	22,0	130,0	1,5410	351,1	25,9	41,3

Notas:

(-) = medida não realizada