

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

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO**  
**DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA,**  
**EM FUNÇÃO DA TECNOLOGIA, DO PORTE E**  
**DO TIPO DE MANANCIAL**

**Lívia Duarte Ventura Melo**

**Belo Horizonte**

**2019**

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA, EM  
FUNÇÃO DA TECNOLOGIA, DO PORTE E DO TIPO  
DE MANANCIAL**

**Lívia Duarte Ventura Melo**

**Lívia Duarte Ventura Melo**

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DE DESEMPENHO DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA, EM  
FUNÇÃO DA TECNOLOGIA, DO PORTE E DO TIPO  
DE MANANCIAL**

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

Área de concentração: Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Tratamento estatístico de dados ambientais

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2019

M528a

Melo, Livia Duarte Ventura.

Avaliação estatística de desempenho de estações de tratamento de água, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial / Livia Duarte Ventura Melo. - 2019.  
xxi, 168 f., enc.: il.

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,  
Escola de Engenharia.

Anexos: f. 124-168.

Bibliografia: 114-123.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Água - Estações de tratamento - Teses. 4. Análise multivariada - Teses. 5. Desempenho - Teses. I. Oliveira, Sílvia Maria Alves Corrêa. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL

Telefone: 51-3341-4000-1882 - [posgrad@desa.ufmg.br](mailto:posgrad@desa.ufmg.br)

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação Estatística de Desempenho de Estações de Tratamento de Água, Em Função da Tecnologia, do Porte e do Tipo de Manancial

LÍVIA DUARTE VENTURA MELO

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

*SNO Coliveira*

Prof.<sup>a</sup> SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA

*Marcos von Sperling*

Prof. MARCOS VON SPERLING

*Miriam CS Amaral Moraes*

Prof.<sup>a</sup> MIRIAM CRISTINA SANTOS AMARAL MORAES

*Cristiano Christofaro Matosinhos*

Prof. CRISTIANO CRISTOFARO MATOSINHOS

*Lyda Patricia Saboga*

Prof.<sup>a</sup> LYDA PATRÍCIA SABOGA

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

*Antonio Teixeira de Matos*

Prof. Antonio Teixeira de Matos  
Coordenador

Versão Final aprovada por

*SNO Coliveira*

Prof.<sup>a</sup> SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA  
Orientadora

Belo Horizonte, 01 de março de 2019

## AGRADECIMENTOS

Sempre achei está a pior parte da tese para escrever, talvez porque não consigo ajustar minha vida com uma simples análise de regressão, ou por verificar que a significância de cada pessoa em minha história não se remete a um “p valor”, ou ainda que o turbilhão de sentimentos e emoções não podem ser agrupados por similaridade em uma AC.

Aos meus avós por me darem os melhores pais do mundo! Meus pais, pelo exemplo, paciência, amor e apoio a qualquer hora.

Ao meu irmão, Vi, pelo companheirismo e por me proporcionar o privilégio de conviver com mais uma irmã de coração, Lidi! Aos meus sobrinhos que me fazem despertar todos os dias em busca de um mundo melhor! Obrigada por me mostrarem um novo sentido de vida!

À Sílvia, resumi-la a minha orientadora é muito pouco e tenho certeza de que ela sente a importância que teve e tem para mim! Passou de conselheira, não só de trabalho, mas sim de vida. Sempre pronta para me conceder um colo até um “puxão de orelha”.

À nossa panela, Eliz, Ana e Carol... Sem vocês tudo seria muito mais difícil! Às minhas IC, Bruna e Deborah pela seriedade nas atividades desenvolvidas e apoio... Aos colegas, amigos e irmãos que o doutorado me trouxe!

A todos que gastaram horas, dias, meses em um processo de viagens, busca de dados, scanner e digitação; sem vocês seria impossível chegar até aqui! Complexo citar todos pois meus agradecimentos seriam maiores que a tese e ainda corro o risco de esquecer algum parafuso dessa “engenhoca” que foi elaborar esse banco de dados. À Lu, pelo empurrão na hora certa! Ao Tilico, pela presença e apoio constantes em cada linha desse texto. À Gabi por estar sempre presente, amiga e sócia fiel!

Aos funcionários do DESA e aos professores. Ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG pela oportunidade.

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

E por meio de minha fé, de minhas orações e de meu amor, agradeço a Deus por tudo que fui, sou e ainda serei! GRATIDÃO!

## RESUMO

Nesta pesquisa foram avaliados dados de 45 estações de tratamento de água de cinco tecnologias diferentes, operadas por três concessionárias (de três estados brasileiros). Este grande número de dados, cerca de 7 milhões de observações, permitiu a aplicação de métodos estatísticos diversos, visando a comparação do desempenho das estações. Após a sistematização do banco de dados, foram efetuadas análises estatísticas preliminares dos dados, que incluíram a identificação de *outliers*, verificação da distribuição de frequência dos dados e cálculo da estatística descritiva. As análises de desempenho consideraram a comparação dos parâmetros da água bruta e tratada das estações de tratamento de água por meio de estatística não paramétrica e multivariada, a avaliação do atendimento a padrões de potabilidade para a água tratada e a análise de confiabilidade das estações. Todas as análises consideraram a tecnologia, o porte e o tipo de manancial de cada ETA. O banco de dados estudado apresentou grandes variações em relação ao número de dados por parâmetro de qualidade da água e por estações, além das frequências de monitoramento. Foram avaliadas 37 estações convencionais, cinco de filtração direta, uma de dupla filtração, uma de ciclo completo com flotação e uma de oxidação seguida de filtração. Com relação ao porte, 25 estações eram de pequeno porte, 13 de médio e 7 de grande porte. Em relação ao manancial, 31 estações eram de manancial lótico, 11 lântico e apenas três lântico/lótico. O agrupamento das estações por meio das características similares não permitiu identificar um padrão que pudesse justificar esse desempenho. Além disso, os resultados das análises multivariadas não indicaram um padrão nos agrupamentos formados no dendrograma da água bruta e da água tratada. O percentual de atendimento aos padrões de potabilidade (USEPA e Consolidação nº 5/2017) e diretrizes da OMS dos parâmetros cor aparente, pH, cloro e flúor foi de 100% para a maioria das ETA analisadas. O parâmetro turbidez apresentou um descompasso em relação ao atendimento dos padrões. A análise de confiabilidade mostrou que os valores médios de turbidez observados na água tratada por quase todas as ETA seriam insuficientes para garantir 95% de atendimento aos padrões de 0,1, 0,3 e 0,5 uT. Portanto, pode-se dizer que a operação da estação de tratamento de água, específica para cada ETA, parece influenciar mais no desempenho, do que os demais fatores analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estação de tratamento de água, análises multivariadas, desempenho, confiabilidade.

## ABSTRACT

In this research were evaluated data from 45 water treatment plants, considering five different technologies, operated by three different concessionaires (from three Brazilian states). This large number of data, about 7 million observations, allowed the application of several statistical methods, aiming at comparing the performance of the plants. After the systematization of the database, it was possible to start the study, which began with the preliminary statistical analysis of the data, which included the identification of outliers, verification of the frequency distribution of the data and calculation of the descriptive statistics. The performance analyzes considered the comparison of the raw and treated water parameters of the water treatment plants by means of non-parametric and multivariate statistics, the evaluation of the treatment standards for treated water and the reliability analysis of the plants. All the analyzes considered the technology, size and type of source of each WTP. The database studied is very heterogeneous, varying the number of data per parameter of water quality and by plants, besides the monitoring frequencies. We evaluated 37 conventional stations, five of direct filtration, one of double filtration, one of complete cycle with flotation and one of oxidation followed by filtration. Regarding the size, 25 stations were small, 13 medium and 7 large. In relation to the spring, 31 seasons were of loquacious spring, 11 lentic and only three lentic / lotic. The grouping of the stations by means of the similar characteristics did not allow to identify a standard that could justify this performance. In addition, the results of the multivariate analysis did not indicate a pattern in the clusters formed in the dendrogram of raw water and treated water. The percentage of compliance with drinking standards (USEPA and Consolidation n° 5/2017) and WHO guidelines for the apparent color, pH, chlorine and fluoride parameters was 100% for most of the WTP analyzed. The turbidity parameter presented a mismatch in relation to the standards. The reliability analysis showed that the mean turbidity values observed in the water treated by almost all WTP would be insufficient to guarantee 95% compliance with the 0.1, 0.3 and 0.5 uT standards. Therefore, it can be said that the operation of the water treatment plant, specific for each WTP, seems to influence more the performance, than the other analyzed factors.

**KEYWORDS:** Water treatment plant, multivariate analyzes, performance, reliability

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS – APÊNDICE 1 .....	xiii
LISTA DE FIGURAS – APÊNDICE 3 .....	xiv
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE TABELAS – APÊNDICE 2.....	xvii
LISTA DE TABELAS – APÊNDICE 4.....	xix
<b>1 INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>1</b>
<b>2 HIPÓTESES .....</b>	<b>5</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Geral .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Específicos.....</b>	<b>6</b>
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Características das águas .....</b>	<b>7</b>
<b>4.2 Técnicas de tratamento de água para abastecimento .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3 Padrões de Potabilidade.....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 Métodos de avaliação de desempenho de ETA.....</b>	<b>16</b>
4.4.1 Métodos tradicionais de avaliação de desempenho de ETA.....	16
4.4.2 Análise de confiabilidade de estações de tratamento de água.....	21
4.4.3 Técnicas estatísticas multivariadas empregadas para avaliação de desempenho de ETA .....	22
<b>5 LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Introdução.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2 Objetivo.....</b>	<b>25</b>
<b>5.3 Metodologia .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3.1 Características das estações de tratamento de água .....</b>	<b>25</b>
5.3.1.1 Tecnologias de tratamento.....	25
5.3.1.2 Porte.....	26
5.3.1.3 Tipo de manancial .....	27
<b>5.3.2 Análise estatística preliminar dos dados .....</b>	<b>28</b>
5.3.2.1 Identificação de <i>outliers</i> .....	28

5.3.2.2	Verificação da normalidade dos dados.....	29
5.3.3	Estatística descritiva dos valores medidos na água bruta e tratada.....	29
<b>5.4</b>	<b>Resultados e discussões.....</b>	<b>29</b>
5.4.1	Características das estações de tratamento de água .....	29
5.4.2	Análise estatística preliminar dos dados.....	31
5.4.2.1	Identificação de <i>outliers</i> .....	34
5.4.2.2	Verificação da normalidade dos dados.....	37
5.4.3	Estatística descritiva dos valores medidos na água bruta e tratada.....	38
<b>5.5</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE</b>	
	<b>ÁGUA UTILIZANDO TESTES ESTATÍSTICOS NÃO PARAMÉTRICOS E</b>	
	<b>FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS .....</b>	<b>51</b>
6.1	<i>Introdução.....</i>	<b>51</b>
6.2	<i>Objetivo.....</i>	<b>52</b>
6.3	<i>Metodologia .....</i>	<b>52</b>
6.3.1	Comparação conjunta de desempenho das estações de tratamento.....	52
6.3.2	Comparação de desempenho das estações de tratamento agrupadas por características similares.....	52
6.3.3	Organização do banco de dados para aplicação das análises estatísticas multivariadas.....	53
6.3.4	Análise multivariada dos parâmetros da água bruta .....	54
6.3.5	Análise multivariada dos parâmetros da água tratada .....	54
<b>6.4</b>	<b>Resultados e discussões.....</b>	<b>55</b>
6.4.1	Comparação conjunta de desempenho das estações de tratamento .....	55
6.4.1.1	Avaliação de desempenho das ETA agrupadas por tecnologia de tratamento.....	55
6.4.1.2	Avaliação de desempenho das ETA agrupadas por porte .....	58
6.4.1.3	Avaliação de desempenho das ETA agrupadas por manancial .....	60
6.4.2	Comparação de desempenho das estações de tratamento agrupadas por características similares.....	62
6.4.2.1	Estações de tratamento de pequeno porte e manancial lântico/lótico	62
6.4.2.2	Estações de tratamento de pequeno porte e manancial lântico.....	65
6.4.2.3	Estações de tratamento de pequeno porte e manancial lótico .....	67
6.4.2.4	Estações de Tratamento de médio porte e manancial lótico.....	70

6.4.2.5	Estações de Tratamento de grande porte e manancial lântico .....	72
<b>6.4.3</b>	<b>Organização do banco de dados para aplicação das análises estatísticas</b>	
	74	
6.4.4	Análise multivariada dos parâmetros da água bruta .....	74
6.4.5	Análise multivariada dos parâmetros da água tratada .....	75
<b>6.5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO A PADRÕES DE POTABILIDADE PARA A</b>	
	<b>ÁGUA TRATADA .....</b>	<b>78</b>
7.1	<i>Introdução .....</i>	<i>78</i>
7.2	<i>Objetivo .....</i>	<i>78</i>
7.3	<i>Metodologia .....</i>	<i>79</i>
7.4	<i>Resultados e discussões .....</i>	<i>80</i>
7.5	<i>Conclusão .....</i>	<i>87</i>
<b>8</b>	<b>ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE</b>	
	<b>ÁGUA .....</b>	<b>88</b>
8.1	<i>Introdução .....</i>	<i>88</i>
8.2	<i>Objetivo .....</i>	<i>89</i>
8.3	<i>Metodologia .....</i>	<i>89</i>
8.3.1	Verificação da aderência dos dados à distribuição lognormal.....	89
8.3.2	Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC) .....	89
8.3.3	Cálculo dos valores médios necessários de turbidez e cor aparente da água tratada para alcance dos padrões de potabilidade .....	90
8.3.4	Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões .....	91
8.4	<i>Resultados e discussões .....</i>	<i>92</i>
8.4.1	Verificação da aderência dos dados à distribuição lognormal.....	92
8.4.2	<b>Análise das estações de tratamento de água individualmente .....</b>	<b>93</b>
8.4.2.1	Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC) .....	93
8.4.2.2	Cálculo dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de potabilidade .....	96
8.4.2.3	Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões de potabilidade para turbidez da água tratada.....	98
8.4.3	<b>Análise das ETA agrupadas por tecnologia de tratamento.....</b>	<b>100</b>
8.4.3.1	Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC) .....	100

8.4.3.2	Cálculo dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de potabilidade .....	100
8.4.3.3	Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões.....	102
<b>8.4.4</b>	<b>Análise das ETA agrupadas por porte .....</b>	<b>105</b>
8.4.4.1	Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC) .....	105
8.4.4.2	Cálculo dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de potabilidade .....	106
8.4.4.3	Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões.....	107
<b>8.5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>110</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>112</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>113</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE 1 – Gráficos <i>Normal Probability Plot</i> para os parâmetros da água bruta e tratada da ETA 5 .....</b>	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE 2 – Estatística Descritiva.....</b>	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE 3 - Resultados dos testes de comparações múltiplas por porte e manancial.....</b>	<b>151</b>
	<b>APÊNDICE 4 – Atendimento ao padrão .....</b>	<b>163</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b> – Esquema – Tratamento convencional com decantação .....	10
<b>Figura 4.2</b> – Esquema – Tratamento convencional com flotação .....	10
<b>Figura 4.3</b> – Esquema – Tratamento filtração direta .....	11
<b>Figura 4.4</b> – Esquema – Tratamento dupla filtração .....	11
<b>Figura 4.5</b> – Esquema – Oxidação com flotação .....	12
<b>Figura 5.1</b> – Composição do nome de cada estação .....	28
<b>Figura 5.2</b> – Número total de dados por parâmetro .....	31
<b>Figura 5.3</b> – Gráfico Box-wisker para o parâmetro Vazão .....	39
<b>Figura 5.4</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro vazão – ETA Pequeno porte ....	40
<b>Figura 5.5</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro vazão – ETA Médio porte .....	40
<b>Figura 5.6</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro vazão – ETA Grande porte.....	41
<b>Figura 5.7</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro Turbidez – Água bruta.....	42
<b>Figura 5.8</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro Turbidez – Água tratada .....	43
<b>Figura 5.9</b> – Gráficos <i>Box-whisker</i> para o parâmetro Cor aparente – Água bruta ....	45
<b>Figura 5.10</b> – Gráficos <i>Box-whisker</i> para o parâmetro Cor aparente – Água tratada	46
<b>Figura 5.11</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro pH – Água bruta.....	48
<b>Figura 5.12</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro pH – Água tratada .....	48
<b>Figura 5.13</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro Cloro residual – Água tratada	49
<b>Figura 5.14</b> – Gráfico <i>Box-whisker</i> para o parâmetro Flúor residual – Água tratada	49
<b>Figura 6.1</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada, por tecnologia de tratamento .....	56
<b>Figura 6.2</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada, por tecnologia de tratamento .....	57
<b>Figura 6.3</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> das dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada, por porte .....	59
<b>Figura 6.4</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada, por porte .....	60

<b>Figura 6.5</b> – Gráfico <i>box-whisker</i> do parâmetro turbidez da água bruta por tipo de manancial.....	60
<b>Figura 6.6</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro cor da água bruta por tipo de manancial.....	61
<b>Figura 6.7</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro pH da água bruta por tipo de manancial.....	61
<b>Figura 6.8</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta para ETA de pequeno porte e manancial lântico/lótico e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de <i>Kruskal-Wallis</i> ( $p < 0,05$ ) .....	63
<b>Figura 6.9</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico/lótico e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de <i>Kruskal-Wallis</i> ( $p < 0,05$ ) .....	64
<b>Figura 6.10</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico/lótico e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de <i>Kruskal-Wallis</i> ( $p < 0,05$ ) .....	65
<b>Figura 6.11</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico .....	66
<b>Figura 6.12</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico .....	67
<b>Figura 6.13</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de pequeno porte e manancial lótico.....	68
<b>Figura 6.14</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lótico.....	69
<b>Figura 6.15</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de médio porte e manancial lótico .....	71
<b>Figura 6.16</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de médio porte e manancial lótico .....	72
<b>Figura 6.17</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de grande porte e manancial lântico .....	73

<b>Figura 6.18</b> – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de grande porte e manancial lântico.....	74
<b>Figura 6.19</b> – Dendrograma da Análise de Cluster para os parâmetros da água bruta para as ETA convencionais e de filtração direta – Método de Ward .....	75
<b>Figura 6.20</b> – Dendrograma da Análise de Cluster para os parâmetros da água tratada para as ETA convencionais e de filtração direta – Método de Ward.....	76
<b>Figura 7.1</b> – Dendrograma da Análise de Cluster para os parâmetros da água tratada para as ETA convencionais e de filtração direta – Método de Ward.....	86
<b>Figura 8.1</b> – Etapas para cálculo dos valores de turbidez para alcance dos padrões de potabilidade .....	91
<b>Figura 8.2</b> – Distribuição dos dados de turbidez da água tratada da ETA_15-P-CN-O .....	93
<b>Figura 8.3</b> – Distribuição dos dados de cor aparente da água tratada da ETA_15-P-CN-O .....	93
<b>Figura 8.4</b> – Valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões e as médias efetivamente observadas nas estações ( $1 - \alpha = 95\%$ ) .....	96
<b>Figura 8.5</b> – Variação do Percentual esperado de atendimento aos padrões de turbidez, estabelecidos pela Consolidação nº 5/2017, USEPA e diretriz da OMS - ( $1 - \alpha = 95\%$ ).....	98
<b>Figura 8.6</b> – Coeficientes de variação (CV) e de confiabilidade (CDC) das tecnologias de tratamento Convencional e Filtração Direta - ( $1 - \alpha = 95\%$ ) .....	100
<b>Figura 8.7</b> – Valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de 0,1 (a); 0,3 (b); 0,5 (c); 1,0 (d) e 5,0 (e) uT e valores efetivamente observados nas estações (f), para ( $1 - \alpha = 95\%$ ) .....	101
<b>Figura 8.8</b> – Percentual de valores iguais ou menores ao atendimento esperado aos padrões de turbidez (nível de confiabilidade de 95%).....	103
<b>Figura 8.9</b> – Comparação dos resultados esperados e efetivamente observados para os padrões de turbidez da tecnologia convencional (CN) .....	104
<b>Figura 8.10</b> – Coeficientes de variação (CV) e de confiabilidade (CDC), considerando o porte das estações.....	105

<b>Figura 8.11</b> – Valores de projeto necessários para o alcance de diversos padrões de turbidez dos efluentes (nível de confiabilidade de 95%) .....	106
<b>Figura 8.12</b> – Percentual de valores iguais ou menores ao atendimento esperado aos padrões de turbidez (nível de confiabilidade de 95%) .....	108
<b>Figura 8.13</b> – Comparação dos resultados esperados e efetivamente obtidos para os padrões de turbidez .....	109

## LISTA DE FIGURAS – APÊNDICE 1

<b>Figura A1.1</b> – Gráfico <i>Normal Probability Plot</i> da vazão - ETA_05-P-CN-O .....	124
<b>Figura A1.2</b> – Gráfico <i>Normal Probability Plot</i> da turbidez, cor aparente e pH da água bruta - ETA_05-P-CN-O .....	124
<b>Figura A1.3</b> – Gráfico <i>Normal Probability Plot</i> da turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada - ETA_05-P-CN-O .....	126

## LISTA DE FIGURAS – APÊNDICE 3

- Figura A3.1** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, para ETA de pequeno porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )..... 151
- Figura A3.2** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de pequeno porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) ..... 152
- Figura A3.3** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, para ETA de pequeno porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )..... 153
- Figura A3.4** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de pequeno porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) . 154
- Figura A3.5** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, para ETA de médio porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )..... 157
- Figura A3.6** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de médio porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) .... 158
- Figura A3.7** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez e pH da água bruta, para ETA de grande porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) ..... 160
- Figura A3.8** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de grande porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ ) .. 161

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1</b> – Características das águas naturais em função da tecnologia de tratamento recomendada .....	12
<b>Tabela 4.2</b> – Seleção de tecnologia de tratamento de água segundo a frequência de ocorrência dos parâmetros turbidez e cor .....	13
<b>Tabela 4.3</b> – Comparação de padrões de potabilidade do Brasil, Estados Unidos e diretrizes da OMS .....	15
<b>Tabela 5.1</b> – Critérios de porte das estações, considerando a vazão tratada pelas estações .....	27
<b>Tabela 5.2</b> – Relação das ETA avaliadas, considerando as vazões, de projeto e tratada, porte, tipo de tecnologia e de manancial e nome de referência.....	30
<b>Tabela 5.3</b> – Número de Estações de Tratamento de Água, por tecnologia.....	31
<b>Tabela 5.4</b> – Número de Estações de Tratamento de Água, por porte.....	31
<b>Tabela 5.5</b> – Número de Estações de Tratamento de Água, por tipo de manancial .	31
<b>Tabela 5.6</b> – Número de dados disponibilizados por estação de tratamento e por parâmetro .....	32
<b>Tabela 5.7</b> – Número de dados disponibilizados por tecnologia de tratamento e por parâmetro .....	33
<b>Tabela 5.8</b> – Número de dados disponibilizados por porte e por parâmetro.....	33
<b>Tabela 5.9</b> – Número de dados disponibilizados por tipo de manancial e por parâmetro .....	33
<b>Tabela 5.10</b> – Número de <i>outliers</i> superiores identificados por estações de tratamento de água para os parâmetros turbidez, cor aparente, pH e residuais de cloro e flúor das águas bruta e tratada.....	35
<b>Tabela 5.11</b> – Número de <i>outliers</i> superiores excluídos do banco de dados para todos os parâmetros da água bruta e tratada .....	36
<b>Tabela 5.12</b> – Percentual de dados excluídos do total de <i>outliers</i> identificados, considerando o porte das estações .....	37
<b>Tabela 5.13</b> – Resultados do teste de <i>Shapiro-Wilk</i> para os parâmetros da água bruta e tratada da ETA_05-P-CN-O .....	38

<b>Tabela 6.1</b> – Agrupamento das tecnologias de tratamento em função do porte e manancial.....	53
<b>Tabela 7.1</b> – Padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, USEPA e diretrizes da OMS.....	79
<b>Tabela 7.2</b> – Atendimento a padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde.....	82
<b>Tabela 7.3</b> – Percentual de ETA que atendem os padrões de turbidez.....	83
<b>Tabela 7.4</b> – Número de ETA que atendem as metas progressivas da Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde para a turbidez.....	84
<b>Tabela 7.5</b> – Atendimento a padrões de turbidez no ano de 2017 .....	85
<b>Tabela 8.1</b> – Valores de distribuição normal padronizada .....	90
<b>Tabela 8.2</b> – Valores dos coeficientes de variação e de confiabilidade do parâmetro turbidez da água tratada para o nível de confiabilidade (1- $\alpha$ ) de 95% .....	95
<b>Tabela 8.3</b> – Valores médios de turbidez da água tratada (AT), necessários para alcance dos padrões estabelecidos (1 - $\alpha$ = 95%) .....	97
<b>Tabela 8.4</b> – Percentual esperado de atendimento aos padrões de turbidez, estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, USEPA e diretriz da OMS - (1 - $\alpha$ = 95%) .....	99
<b>Tabela 8.5</b> – Percentual de estações de tratamento de água com turbidez média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões de potabilidade para turbidez da água tratada.....	102
<b>Tabela 8.6</b> – Percentual de estações de tratamento de água com turbidez média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões de potabilidade .....	107

## LISTA DE TABELAS – APÊNDICE 2

<b>Tabela A2.1</b> – Estatística Descritiva – ETA_01-P-CN-E .....	128
<b>Tabela A2.2</b> – Estatística Descritiva – ETA_02-P-CN-O .....	129
<b>Tabela A2.3</b> – Estatística Descritiva – ETA_03-P-CN-EO .....	129
<b>Tabela A2.4</b> – Estatística Descritiva – ETA_04-P-CN-O .....	130
<b>Tabela A2.5</b> – Estatística Descritiva – ETA_05-P-CN-O .....	130
<b>Tabela A2.6</b> – Estatística Descritiva – ETA_06-P-CN-O .....	131
<b>Tabela A2.7</b> – Estatística Descritiva – ETA_07-P-FD-E .....	131
<b>Tabela A2.8</b> – Estatística Descritiva – ETA_08-P-FD-O .....	132
<b>Tabela A2.9</b> – Estatística Descritiva – ETA_09-P-CN-O .....	132
<b>Tabela A2.10</b> – Estatística Descritiva – ETA_10-P-CN-O .....	133
<b>Tabela A2.11</b> – Estatística Descritiva – ETA_11-P-CN-O .....	133
<b>Tabela A2.12</b> – Estatística Descritiva – ETA_12-P-CN-EO .....	134
<b>Tabela A2.13</b> – Estatística Descritiva – ETA_13-P-CN-O .....	134
<b>Tabela A2.14</b> – Estatística Descritiva – ETA_14-P-CN-O .....	135
<b>Tabela A2.15</b> – Estatística Descritiva – ETA_15-P-CN-O .....	135
<b>Tabela A2.16</b> – Estatística Descritiva – ETA_16-P-CN-EO .....	136
<b>Tabela A2.17</b> – Estatística Descritiva – ETA_17-P-CN-O .....	136
<b>Tabela A2.18</b> – Estatística Descritiva – ETA_18-P-FD-O .....	137
<b>Tabela A2.19</b> – Estatística Descritiva – ETA_19-P-CN-E .....	137
<b>Tabela A2.20</b> – Estatística Descritiva – ETA_20-P-CN-O .....	138
<b>Tabela A2.21</b> – Estatística Descritiva – ETA_21-P-CN-O .....	138
<b>Tabela A2.22</b> – Estatística Descritiva – ETA_22-P-FD-O .....	139
<b>Tabela A2.23</b> – Estatística Descritiva – ETA_23-P-DF-E .....	139
<b>Tabela A2.24</b> – Estatística Descritiva – ETA_24-P-CN-O .....	140
<b>Tabela A2.25</b> – Estatística Descritiva – ETA_25-P-CN-O .....	140
<b>Tabela A2.26</b> – Estatística Descritiva – ETA_26-M-CN-O .....	141

<b>Tabela A2.27</b> – Estatística Descritiva – ETA_27-M-CN-O .....	141
<b>Tabela A2.28</b> – Estatística Descritiva – ETA_28-M-CN-O .....	142
<b>Tabela A2.29</b> – Estatística Descritiva – ETA_29-M-CN-O .....	142
<b>Tabela A2.30</b> – Estatística Descritiva – ETA_30-M-CN-O .....	143
<b>Tabela A2.31</b> – Estatística Descritiva – ETA_31-M-CN-O .....	143
<b>Tabela A2.32</b> – Estatística Descritiva – ETA_32-M-CN-O .....	144
<b>Tabela A2.33</b> – Estatística Descritiva – ETA_33-M-CN-O .....	144
<b>Tabela A2.34</b> – Estatística Descritiva – ETA_34-M-CN-O .....	145
<b>Tabela A2.35</b> – Estatística Descritiva – ETA_35-M-CN-O .....	145
<b>Tabela A2.36</b> – Estatística Descritiva – ETA_36-M-CN-O .....	146
<b>Tabela A2.37</b> – Estatística Descritiva – ETA_37-M-CN-E .....	146
<b>Tabela A2.38</b> – Estatística Descritiva – ETA_38-M-CN-O .....	147
<b>Tabela A2.39</b> – Estatística Descritiva – ETA_39-G-CN-E .....	147
<b>Tabela A2.40</b> – Estatística Descritiva – ETA_40-G-CN-E .....	148
<b>Tabela A2.41</b> – Estatística Descritiva – ETA_41-G-OF-E .....	148
<b>Tabela A2.42</b> – Estatística Descritiva – ETA_42-G-CF-E .....	149
<b>Tabela A2.43</b> – Estatística Descritiva – ETA_43-G-FD-E .....	149
<b>Tabela A2.44</b> – Estatística Descritiva – ETA_44-G-CN-E .....	150
<b>Tabela A2.45</b> – Estatística Descritiva – ETA_45-G-CN-O .....	150

## LISTA DE TABELAS – APÊNDICE 4

<b>Tabela A4.1</b> – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2012 .....	163
<b>Tabela A4.2</b> – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2013 .....	164
<b>Tabela A4.3</b> – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2014 .....	165
<b>Tabela A4.4</b> – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2015 .....	166
<b>Tabela A4.5</b> – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2016 .....	167
<b>Tabela A4.6</b> – Atendimento a padrões de Turbidez – Período de 2012 a 2016 (Completo) .....	168

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AB	Água bruta
AC	Análise de Cluster
ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
AIQ	Amplitude interquartis
ANA	Agência Nacional das Águas
ANFIS	Inferência Adaptativa Fuzzy
AT	Água tratada, coletada na saída da estação de tratamento de água
CF	Ciclo completo com flotação
Cl	Cloro
CN	Convencional com decantação
CPRM	Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais)
CQACH	Controle de qualidade da água para consumo humano
CV	Coefficiente de variação
DE	Disruptores Endócrinos
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
DF	Dupla Filtração
DP	Desvio-padrão
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FD	Filtração Direta
F	Flúor
GDWQ	<i>Guidelines for Drinking Water Quality</i>
HU	<i>Hazen units</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPAGRO	Instituto da Pesquisa Agropecuária
IQETA	Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água
mg/L	Miligrama por litro
MS	Ministério da Saúde
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
OF	Oxidação com Filtração

OMS	Organização Mundial de Saúde
pH	Potencial hidrogeniônico
PPF	Produtos Pessoais Farmacêuticos
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
uH	Unidade de cor
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
uT	Unidade de turbidez
UV	Ultravioleta
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	<i>World Health Organization</i>

# 1 INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA

A distribuição de água com qualidade satisfatória para a manutenção da saúde pública tem se tornado um desafio cada vez maior para as prestadoras de serviço. Intervenções humanas nas bacias hidrográficas têm provocado impactos diretos e indiretos, tornando cada vez mais escassos os mananciais com boa qualidade de água. Exemplos dos impactos decorrentes de ações antrópicas incluem o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização, causando enchentes, erosões e carreamento de resíduos sólidos para os corpos d'água, a contaminação da chuva por poluentes lançados na atmosfera e o uso de produtos químicos como agrotóxicos, óleos e graxas (YU *et al.*, 2014; SIMAZAKI *et al.*, 2015, CUNHA *et al.*, 2016).

O abastecimento de água, quando comparado a outros serviços do setor de saneamento básico, possui uma posição de destaque, isso devido à grande dinâmica desse processo e à associação direta de riscos à saúde humana. Nesse cenário, as estações de tratamento de água (ETA) tomam posição relevante pela função primária de adequar a água bruta ao padrão de potabilidade, não excluindo as demais etapas do sistema que são fundamentais para o Controle de Qualidade da Água para Consumo Humano (CQACH). O CQACH deve ser entendido como algo mais abrangente que a sistemática análise laboratorial de amostras de água, devendo ser percebido como a adoção de boas práticas em todo o processo de produção e fornecimento de água para consumo.

A escolha da tecnologia mais adequada para ser empregada na potabilização da água de determinado manancial é função de vários fatores, tais como: características da água bruta; tipo de manancial (lótico ou lântico); custos de implantação, manutenção e operação; manuseio e confiabilidade dos equipamentos; flexibilidade operacional; localização geográfica e características da comunidade; disposição final do lodo; entre outros. Ressalta-se a importância de uma caracterização completa da água bruta, considerando também sua variabilidade ao longo do tempo, na escolha da técnica.

À medida que a qualidade da água varia e o desempenho de uma unidade da estação afeta o das etapas seguintes, a avaliação do desempenho de ETA torna-se um problema complexo. Surge então a necessidade de aplicação de métodos avançados para avaliar o desempenho de ETA, tanto no que diz respeito ao atendimento às normas, quanto à eficiência no uso de recursos (físicos, financeiros e humanos) para a produção de água potável. Essa avaliação pode ser feita tanto em processo, considerando a eficiência de cada etapa do tratamento,

quanto em nível de sistema, com a análise apenas do afluente e do efluente da estação. A primeira vertente tende a ser empregada pelas companhias, principalmente para controle do tratamento, enquanto a análise global é usualmente efetuada pelas agências reguladoras.

Entende-se por água potável aquela que atende as premissas estabelecidas pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) e que, por conseguinte, pode ser consumida sem causar danos à saúde ou objeções de caráter organoléptico. A água deve estar isenta de determinadas substâncias químicas, radioativas e microrganismos patogênicos para ser considerada potável. No entanto, não se tem conhecimento se as ETA do país estão prontas para atender aos padrões mais restritivos adotados e qual é a confiabilidade dessas estações, medida pela probabilidade de desempenho satisfatório de uma estação, considerando o atendimento a tais padrões de potabilidade.

A adoção de limites acompanhados de percentuais de atendimento exige o conhecimento detalhado do comportamento dos parâmetros considerados. As ETA devem ser projetadas de forma a acomodar a variabilidade esperada das características da água para que as metas sejam satisfeitas. Ferramentas como o modelo de confiabilidade, desenvolvido originalmente para avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos (ETE) (NIKU *et al.*, 1979) podem contribuir para a análise de desempenho de ETA.

Em termos de desempenho de uma estação de tratamento, a confiabilidade pode ser entendida como a fração de tempo em que se alcançam valores esperados de certos parâmetros na água tratada para cumprir com os padrões de potabilidade. Assim, uma ETA será completamente confiável se não houver falha no desempenho, ou seja, se não houver violação dos limites preconizados pelas legislações.

Devido às variações na qualidade da água, a estação de tratamento deve ser naturalmente projetada para produzir uma concentração média dos parâmetros de interesse abaixo dos padrões. Para determinar uma concentração média que garanta que a concentração dos parâmetros estará abaixo de certo valor, com um determinado nível de confiabilidade, Niku *et al.* (1979) desenvolveram um método que relaciona a concentração média do constituinte (valor de projeto) com os valores limites a serem cumpridos, baseando-se em análises probabilísticas. Este método tem sido muito utilizado para avaliação de desempenho de ETE (NIKU *et al.*, 1981, NIKU & SCHROEDER, 1982, METCALF & EDDY, 2003; OLIVEIRA, 2006; OLIVEIRA & SPERLING, 2007; OLIVEIRA & SPERLING, 2008), mas não para ETA.

Nesse contexto, o uso de métodos probabilísticos para estabelecer padrões pode ser considerado uma abordagem realista e prática do ponto de vista operacional. Nesse sentido, exemplo mais evidente é o padrão de turbidez da água após filtração rápida estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), definido por valores absolutos acompanhados dos respectivos percentuais de atendimento, os quais estabelecem metas progressivas que deviam vigorar a partir do final de 2012.

Além da abordagem probabilística, as análises comparativas multivariadas podem ser aplicadas para a avaliação de desempenho de tecnologias de tratamento de água, destacando-se a análise de Cluster (AC), ferramenta que reúne amostras pelas similaridades ou diferenças observadas. Tal técnica é útil, tanto para a avaliação do desempenho de algumas tecnologias de tratamento, quanto para verificação da influência de fatores de projeto e operação na qualidade da água gerada, uma vez que consideram relações simultâneas entre as variáveis.

O trabalho apresenta grande originalidade, considerando os aspectos inovadores propostos para avaliação de desempenho das estações e das tecnologias de tratamento, muitos pouco usuais na área de abastecimento de água. Ressalta-se, ainda, que o desempenho de estações de tratamento de água, na grande maioria, é associado a testes de bancada e a testes laboratoriais de escalas reduzidas, sendo escassos os estudos que consideram dados secundários oriundos de monitoramento de ETA em escala real. Quando existentes, costumam abordar os dados de ETA individuais ou de um número reduzido de estações e tecnologias de tratamento. Nesta pesquisa foram avaliados dados de 45 estações, considerando cinco tecnologias diferentes, que operam em três unidades federativas do Brasil. O grande número de dados analisados, cerca de sete milhões de observações, permitiu a comparação de desempenho das estações em função da tecnologia de tratamento adotada, do porte e do tipo de manancial por meio da aplicação de métodos estatísticos diversos.

O trabalho apresenta, inicialmente, as hipóteses da pesquisa (Capítulo 2), a relação dos objetivos (Capítulo 3), seguida pela revisão bibliográfica (Capítulo 4) sobre características das águas naturais e das técnicas de tratamento de água para abastecimento, padrões de potabilidade e critérios de avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. Em seguida, a tese foi estruturada de tal forma que em cada capítulo são incluídos os itens introdução, metodologia, resultados, discussão e conclusões.

O capítulo 5, “Levantamento e caracterização dos dados”, apresenta toda a metodologia de aquisição dos dados: origem, quantidade, tipos de tecnologias de tratamento, número de ETA

inseridas em cada modalidade, assim como as análises estatísticas preliminares e descritivas utilizadas para a caracterização das estações.

O capítulo 6, “Comparação do desempenho das estações de tratamento de água”, apresenta os resultados das comparações da qualidade da água bruta e tratada em função das cinco tecnologias de tratamento, do porte e do tipo de manancial de abastecimento, por meio de testes estatísticos de hipóteses não paramétricos. Este capítulo também apresenta a comparação do desempenho das estações de tratamento utilizando análise multivariada de Cluster, em função dos parâmetros da água bruta e tratada.

No capítulo 7, “Avaliação do atendimento a padrões de potabilidade para a água tratada”, foi analisado o percentual de atendimento para todos os parâmetros da água tratada: turbidez, cor aparente, pH, residual de cloro e flúor. Para isso, foram considerados os limites estabelecidos pela Portaria de Potabilidade Brasileira (Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde) (BRASIL, 2017), e pela OMS e USEPA no caso do parâmetro turbidez, o qual foi analisado de forma mais detalhada.

No capítulo 8, “Análise de Confiabilidade das estações de tratamento de água”, foi utilizado o método desenvolvido por Niku *et al.* (1979) para determinação dos coeficientes de confiabilidade, dos valores médios necessários para cumprimento dos padrões de potabilidade considerados no estudo e foram determinados os percentuais de atendimento esperados, considerando as condições de operação efetivamente praticadas pelas ETA.

O capítulo 9, “Considerações Finais”, lista algumas conclusões obtidas neste estudo e o capítulo 10 “Recomendações para trabalhos futuros” apresenta as sugestões para continuidade do trabalho, uma vez que existem diversas possibilidades de análises que ainda podem ser efetuadas, considerando o grande número de dados disponibilizados. A relação das referências bibliográficas é apresentada no último capítulo.

## 2 HIPÓTESES

- Fatores como a tecnologia, o porte e o tipo de manancial podem influenciar no desempenho de estações de tratamento de água.
- A tecnologia de tratamento convencional é considerada mais robusta o que pode implicar em melhor desempenho.
- Estações de grande porte tendem a apresentar melhor desempenho por serem automatizadas e terem um maior rigor operacional.
- Mananciais lênticos tendem a ter melhor qualidade da água em função da baixa velocidade de escoamento.
- A qualidade da água tratada pelas estações deve convergir para o padrão de potabilidade.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Geral**

Comparar estatisticamente o desempenho de estações de tratamento de água operando em três estados brasileiros, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial.

### **3.2 Específicos**

- Fazer o levantamento e a sistematização dos dados de 45 ETA em três unidades federativas brasileiras.
- Comparar a água bruta e tratada das estações, segundo tecnologia, porte e tipo de manancial, através de testes estatísticos não paramétricos e estatística multivariada.
- Avaliar o atendimento aos padrões de potabilidade e às diretrizes da OMS para a água tratada.
- Realizar a análise de confiabilidade das estações.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Características das águas

O estudo detalhado das características da água é de fundamental importância tanto para a escolha de uma tecnologia de tratamento adequada a ser implantada como para a avaliação de ETA existentes. A consulta aos registros sobre a variação da qualidade da água do manancial junto a análises estatísticas pode resultar em uma amostragem significativa sobre a qualidade da água em diferentes períodos de um ano. Essas amostras são representadas por vários parâmetros, incluindo características biológicas, físicas e organolépticas, químicas e radioativas.

Designa-se por turbidez a inferência de concentração de sólidos suspensos coloidais presentes na água. A praticidade na sua medição e a associação indireta com contaminação por sólidos e microrganismos patogênicos confere grande importância a este parâmetro, sendo ele monitorado em águas afluentes e efluentes na maioria das estações de tratamento de água. Salienta-se, que os sólidos suspensos que conferem alto valor de turbidez podem abrigar microrganismos reduzindo a eficiência de desinfecção. Sendo assim, os padrões de potabilidade tendem a se tornarem gradualmente mais restritivos (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

No caso do Brasil, o padrão de potabilidade vigente (Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde) estabelece que em no mínimo 95% das amostras mensais coletadas, o valor de turbidez deve ser menor que 0,5 uT, no caso de tratamento convencional. Em comparação com o padrão anteriormente adotado no país (Portaria nº 518/2004) o limite sofreu uma redução de 50%, ainda assim, é atualmente menos restritivo que padrões internacionais, como o estadunidense que estabelece turbidez máxima de 0,3 uT em 95% das amostras (EPA, 2017).

O monitoramento da turbidez, apesar de sua relevância, não fornece informações sobre o tamanho das partículas que a constituem. Desta forma, águas que apresentam o mesmo valor de turbidez podem apresentar quantidades diferentes de partículas de diferentes tamanhos e constituição. Este contexto influencia diretamente no coagulante adotado no tratamento da água e na configuração de uma ETA, sendo a etapa de floculação necessária ou não, dependendo da dimensão das partículas (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

A cor é conferida à água natural por meio dos compostos inorgânicos (principalmente ferro e manganês) e orgânicos (decomposição da matéria orgânica e/ou descargas de efluentes

domésticos ou industriais). Ela é dividida em dois segmentos, sendo a cor verdadeira aquela medida com a remoção dos sólidos suspensos e a cor aparente medida com a presença dos mesmos. A sua determinação pode ser feita por meio de comparação visual ou por espectrofotometria, sendo o resultado medido em unidade de cor (uC) ou unidade *Hazen* (uH) (APHA/AWWA/WEF, 2005).

Inicialmente a remoção da cor se dava por motivos estéticos, entretanto descobriu-se que a matéria orgânica a ela relacionada pode ser precursora de substâncias cancerígenas quando submetida à etapa de desinfecção com cloro. Desta forma, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 estabelece para cor aparente o valor máximo de 15 uH antes da etapa contendo compostos clorados.

O potencial hidrogeniônico (pH) indica acidez da solução aquosa quanto menor o seu valor e alcalinidade da solução quanto maior o seu valor, dentro da faixa de 0 a 14. O monitoramento deste parâmetro se dá de forma frequente devido a sua interferência nas diversas operações unitárias que compõem uma estação de tratamento de água. Tanto a corrosão promovida por águas ácidas, quando a incrustação formada por águas de caráter básico, são prejudiciais às tecnologias de tratamento (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

O padrão de potabilidade brasileiro recomenda que o pH seja mantido, no sistema de distribuição, dentro da faixa de 6,0 a 9,5 para evitar danos à rede de abastecimento e efeitos adversos a saúde do consumidor.

A etapa de desinfecção é obrigatória em todas as estações de tratamento de água de acordo com a Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde. Para tanto são usados desinfetantes, sendo o cloro o mais comumente utilizado no país. A água fornecida deve conter o teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L para garantir a potabilidade da mesma.

O processo de desinfecção, mesmo sendo primordial no tratamento da água, quando aplicado em águas que ainda apresentam altas cargas de matéria orgânica, pode gerar subprodutos prejudiciais à saúde e até cancerígenos, como os trihalometanos – THM (ZHOU *et al.*, 2014). Desta forma, é necessária a máxima eficiência nas etapas anteriores a essa na remoção, principalmente, da cor verdadeira (associada com material orgânico) para se obter a qualidade da água necessária e não afetar a saúde do consumidor (LIBÂNIO, 2008).

De acordo com o Ministério da Saúde (2009) o sistema de fluoretação de águas de abastecimento do Brasil é o segundo maior do mundo. A adição de flúor na água é utilizada como um instrumento de prevenção de cárie dentária sendo obrigatória no país, em todas as estações de tratamento de água (Lei Federal nº 6.050, de 24/5/1974). Esta etapa é a última a ser executada e, embora seja relativamente simples ainda requer atenção e controle.

A exposição ao flúor em excesso implica no desenvolvimento da fluorose dentária, por este motivo a dosagem de compostos de flúor, que permitem a fluoretação da água, é estabelecida pela Portaria nº 653/1975. Além disso, o valor máximo o qual a concentração do íon fluoreto pode chegar de acordo com o padrão de potabilidade de água é de 1,5 mg/L.

As pesquisas sobre qualidade de água para abastecimento humano tem focado em contaminantes emergentes (fármacos, disruptores endócrinos, microplásticos) (SU *et al.*, 2018; NOVOTNA *et al.*, 2019; MA *et al.*, 2019), subprodutos da desinfecção (CHHIPI-SHRESTHA *et al.*, 2018; GORA & ANDREWS, 2019), e tecnologias de tratamento mais avançadas que permitam a remoção de tais compostos, como a utilização de membranas (SHAO *et al.*, 2018; TEODOSIU *et al.*, 2018).

#### **4.2 Técnicas de tratamento de água para abastecimento**

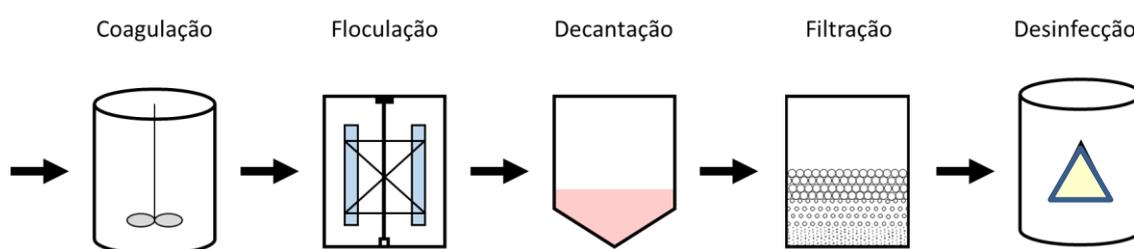
A escolha da tecnologia de tratamento mais adequada para ser empregada na potabilização da água de determinado manancial depende de vários fatores, sendo a qualidade da água bruta um dos principais balizadores dessa escolha. Daí a importância de uma caracterização completa da mesma, considerando também sua variabilidade ao longo do tempo, na escolha da técnica (LIBÂNIO, 2008).

As principais técnicas utilizadas no Brasil compreendem o tratamento convencional e a filtração direta, sendo também encontradas a filtração lenta, a flotação e a separação por membrana, porém em um menor número de estações (HELLER & PÁDUA, 2006).

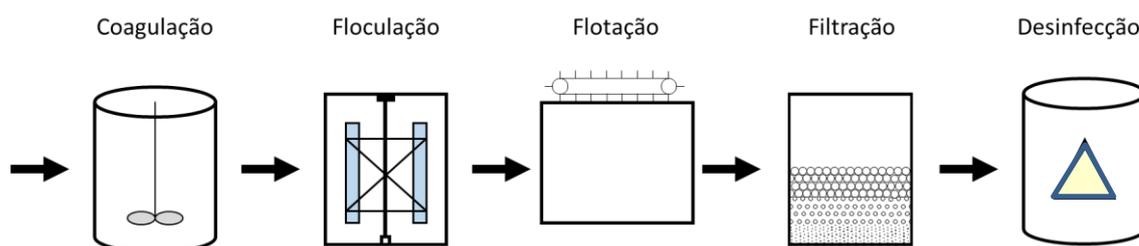
Em 1890, no estado de Ohio (EUA), George Fuller recomendou a introdução da etapa de clarificação precedendo a filtração para as águas turvas do rio Ohio. A partir daí, nas décadas seguintes, a tecnologia que abrangesse aplicação de coagulante na unidade de mistura rápida, floculação, sedimentação e filtração passou a ser denominada convencional (LOGSDON, G.; HESS, A. & HORSLEY, 1999). O principal objetivo deste, como de qualquer tratamento, é produzir água por um preço acessível e cuja qualidade satisfaça a um conjunto de padrões que a torne adequada para o consumo humano.

O tratamento convencional (Figura 4.1) contempla a etapa de clarificação, composta pela coagulação, floculação e decantação, ou flotação (se houver presença de algas ou elevada cor na água bruta - Figura 4.2) e filtração rápida, usualmente descendente. Ainda sobre o tratamento convencional, deve-se ressaltar que, como possui sempre as unidades do tratamento em série, o desempenho de cada uma das unidades pode afetar o funcionamento das demais subsequentes, sendo necessário avaliar as unidades individuais e o tratamento como um todo (HELLER E PÁDUA, 2006).

**Figura 4.1 – Esquema – Tratamento convencional com decantação**



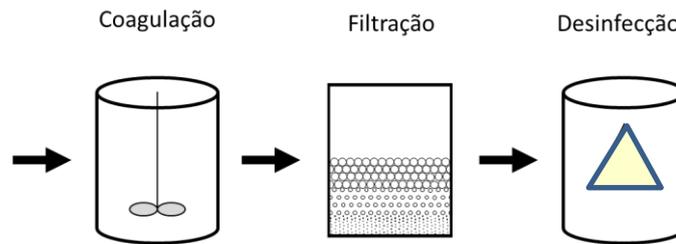
**Figura 4.2 – Esquema – Tratamento convencional com flotação**



Segundo Libânio (2008), o tratamento convencional é o mais usual no país, devido principalmente às características da água bruta e à variação sazonal que altera estas ao longo do ano, demandando um tratamento mais robusto. Cabe ressaltar que cerca de 69,2% da água distribuída no Brasil é tratada em estações convencionais, segundo levantamento da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010).

Nas técnicas de filtração direta (Figura 4.3) a água bruta é coagulada e encaminhada aos filtros rápidos, que são as unidades responsáveis pela remoção de sólidos. Nessa classificação estão incluídas a filtração direta ascendente (FDA), a filtração direta descendente, a filtração direta descendente precedida de floculação e a dupla filtração (filtração ascendente seguida de filtração descendente) (DI BERNARDO, 2017).

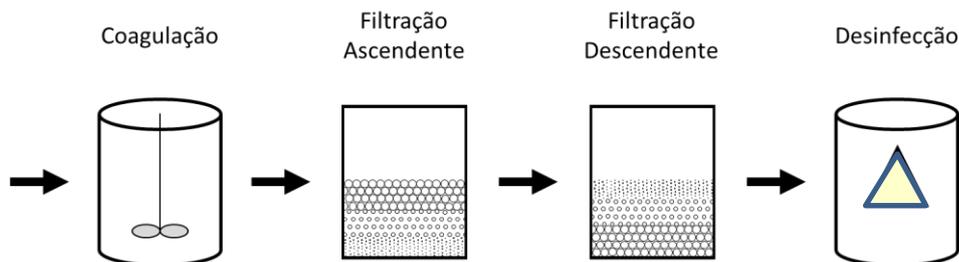
**Figura 4.3 – Esquema – Tratamento filtração direta**



A FDA, por realizar a coagulação e a floculação no meio poroso do leito filtrante, apresenta sobretudo a vantagem de dispensar flocculadores e decantadores prévios (PROSAB, 2003). Nessa unidade, toda a espessura do leito trabalha no processo de clarificação, e como seus grãos se dispõem em ordem decrescente de tamanho (por força das lavagens em contracorrente), a clarificação se realiza de maneira lógica através de meios de porosidade decrescente no sentido do fluxo (FREITAS *et al.*, 2010).

A filtração direta apresenta vantagens em relação aos custos, por dispensar unidades de decantação onerosas, além de operar com taxas superiores aos filtros do tipo lento, resultando em sistemas mais compactos. A técnica/tecnologia deixa a desejar no quesito de flexibilidade operacional e bom desempenho quando da variação da qualidade da água bruta e elevada turbidez e cor verdadeira (LIBÂNIO, 2008). A dupla filtração (Figura 4.4) é a técnica de filtração direta que permite o tratamento de água bruta de qualidade inferior, suportando um maior aporte de sólidos (em suspensão e dissolvidos), segundo Di Bernardo e Sabogal (2008).

**Figura 4.4 – Esquema – Tratamento dupla filtração**

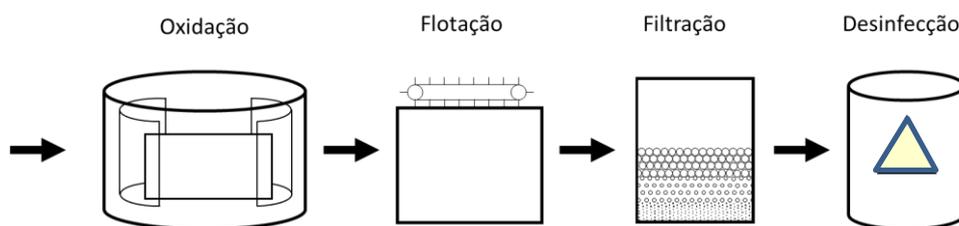


Nos casos em que o manancial possui uma floração acentuada de algas, nem mesmo a técnica de dupla filtração mostra-se eficiente (LIBÂNIO, 2008). O uso de uma unidade de flotação torna-se necessária para remover as algas, aliada à técnica de filtração direta (CEZAR *et al.*, 2005; ANGELIS, 2007) ou mesmo o tratamento convencional, quando a flotação substitui a decantação, dentre outros tratamentos.

A oxidação química (Figura 4.5) é outra opção que tem sido utilizada em tratamento de água, sendo que os principais objetivos são o controle do crescimento microbiano, a remoção de

cor, o controle de odor e a remoção de ferro e manganês (MONDARDO *et al.*, 2004, FERREIRA FILHO e ALVES, 2006).

**Figura 4.5 – Esquema – Oxidação com flotação**



Para a definição da tecnologia de tratamento a ser implantada é fundamental a análise das características da água bruta. Várias publicações, como a Resolução 357 do Conama (BRASIL, 2005) e de diversos autores (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991; EATON, *et al.*, 2005, DI BERNARDO e SABOGAL, 2008; LIBÂNIO, 2008), discutem a imposição de intervalos das principais características da água bruta e às respectivas tecnologias de tratamento associadas aos mesmos.

A Tabela 4.1 apresenta intervalos de valores para quatro características físicas e microbiológicas da água bruta e as respectivas tecnologias de tratamento recomendadas.

**Tabela 4.1 – Características das águas naturais em função da tecnologia de tratamento recomendada**

Característica \ Tecnologia	Convencional	Dupla Filtração	Filtração Direta**	Filtração Lenta*	Filtração Direta em Linha**
Turbidez (uT)	< 3.000	< 50	< 20	< 10	< 5
Cor Aparente (uH)	< 1.000	< 50	< 20	< 20	< 15
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	< 10 <sup>6</sup>	< 10 <sup>3</sup>	< 10 <sup>3</sup>	< 10 <sup>3</sup>	< 100
Algas (UPA/mL)	< 10 <sup>5</sup>	< 5.000	< 10 <sup>3</sup>	< 250	< 100

\* Sem o emprego de pré-filtros; \*\*Esta distinção refere-se à unidade de floculação a montante dos filtros (Filtração Direta) e quando tal operação unitária não se faz presente (Filtração Direta em Linha).

Fonte: adaptado de LIBÂNIO, 2016.

Di Bernardo e Sabogal (2008) descrevem a escolha da tecnologia de tratamento em função de valores de alguns parâmetros, conforme se verifica na Tabela 4.2. Destaca-se a aplicação da frequência de ocorrência dos parâmetros cor e turbidez nessa escolha, o que está em consonância com os objetivos desse trabalho. Esses parâmetros serão importantes balizadores da análise dos resultados obtidos.

**Tabela 4.2 – Seleção de tecnologia de tratamento de água segundo a frequência de ocorrência dos parâmetros turbidez e cor**

Frequência de ocorrência	TURBIDEZ		COR	
	Valor (uT)	Tecnologias sustentáveis	Valor (uH)	Tecnologias sustentáveis
90%	≤ 10	FDD, FDA, DF, FF, FiME	≤ 10	FDD, FDA, DF, FF, FiME
	(10 - 20)	FDD, FDA, DF, FF, FiME	(10 - 20)	FDD, FDA, DF, FF
	(20 - 30)	DF, FF, FiME	(20 - 50)	DF, FF
	(30 - 40)	DF, FF	> 50	Não existe solução sustentável
	(40 - 100)	DF		
	> 100	Não existe solução sustentável		
95%	≤ 15	FDD, FDA, DF, FF, FiME	≤ 15	FDD, FDA, DF, FF, FiME
	(15 - 30)	FDD, FDA, DF, FF, FiME	(15 - 25)	FDD, FDA, DF, FF
	(30 - 50)	DF, FF, FiME	(25 - 75)	DF, FF
	(50 - 60)	DF, FF	(75 - 100)	FF
	(60 - 150)	DF	> 100	Não existe solução sustentável
	> 150	Não existe solução sustentável		
100%	≤ 25	FDD, FDA, DF, FF, FiME, CC	≤ 20	FDD, FDA, DF, FF, FiME, CC
	(25 - 50)	FDD, FDA, DF, FF, FiME, CC	(20 - 50)	FDD, FDA, DF, FF, CC
	(50 - 100)	DF, FF, FiME, CC	(50 - 100)	DF, FF, CC
	(100 - 200)	DF, FF, CC	(100 - 200)	FF, CC
	(200 - 500)	CC	(200 - 250)	CC
	> 500	Não existe solução sustentável	> 250	Não existe solução sustentável

Obs.: FDD: filtração direta descendente; FDA: filtração direta ascendente; DF: dupla filtração; FF: floto-filtração; FiME: filtração em múltiplas etapas e suas variações; e CC: ciclo completo com decantação ou flotação

Fonte: adaptado de Di Bernardo & Sabogal (2008)

### 4.3 Padrões de Potabilidade

Existem diversas fases que são essenciais para se elaborar uma norma de qualidade da água. Para tanto deve-se avaliar a capacidade técnica do país relacionada ao tratamento, distribuição e consumo de água da população, o que envolve uma análise não só da qualidade dos mananciais como dos produtos químicos mais utilizados e dos aspectos epidemiológicos e toxicológicos (BASTOS *et al.*, 2001; SOLSONA, 2002). Desta forma se adquire o nível mais alto de conhecimento ligado à qualidade da água para o consumo humano.

O atendimento ao padrão de potabilidade é a etapa inicial no que diz respeito à qualidade da água. No Brasil, o padrão foi estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Apesar da sua grande importância, nem sempre as Normas de potabilidade se pautam em critérios técnicos para impor os valores limites para os parâmetros de qualidade de água. Um exemplo a ser citado é no caso da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011) que propõe valores-guia, porém não menciona se o limite se refere à saída da estação ou à rede de distribuição.

Nos Estados Unidos da América (EUA), a preocupação com a qualidade da água para consumo humano iniciou-se a partir da determinação do padrão de qualidade microbiano em 1914 pelo Serviço de Saúde Pública (*United States Public Health Service*). Este padrão abarcava apenas contaminantes capazes de causar doenças contagiosas e era voltado exclusivamente aos sistemas que forneciam água potável aos veículos de transporte interestadual (USEPA, 2000b).

A partir de então, a legislação foi revisada e expandida inúmeras vezes pelo Serviço de Saúde Pública, dando origem a um padrão considerado como mais restritivo e, portanto, mais eficaz. O padrão estabelecido pela USEPA considera além dos riscos à saúde pública associados a cada contaminante, seu padrão de ocorrência na água, as tecnologias de tratamento disponíveis e o custo. Os dados gerados pela USEPA sobre a qualidade da água são compilados e fornecidos ao público, e o Serviço também orienta, assiste e inspeciona os programas estaduais de controle de qualidade da água (USEPA, 2004).

Em 1956 foi criada a Organização Mundial da Saúde (OMS) com o propósito de elaborar, no âmbito europeu, diretrizes relativas à potabilidade da água dando origem a diversas publicações de manuais. Atualmente, a OMS utiliza um guia com orientações relativas à qualidade da água para consumo humano chamado *Guidelines for Drinking Water Quality* (GDWQ), que é voltado a todos os países, sem distinção econômica ou tecnológica (WHO, 2011).

Portanto, para desenvolver e implementar estratégias para o gerenciamento dos riscos à saúde provenientes da água para consumo humano são utilizados os guias, que têm como objetivo fundamentar as iniciativas de estabelecimento de padrões e práticas para obtenção de água potável nos diversos países.

A Tabela 4.3 apresenta um resumo comparativo dos padrões de potabilidade propostos para o Brasil e Estados Unidos, além das diretrizes da OMS. Foi escolhida a legislação estadunidense como sendo referência nesse estudo por ser um padrão mais restritivo, além de ser estabelecido por uma instituição pioneira em estimular parâmetros de potabilidade. Como base mundial foi utilizado as diretrizes da OMS.

**Tabela 4.3 – Comparação de padrões de potabilidade do Brasil, Estados Unidos e diretrizes da OMS**

Parâmetro	Brasil	Estados Unidos	Organização Mundial da Saúde <sup>(c)</sup>
Coliformes totais	Ausência em 100 mL <sup>(1)</sup>	95 % das amostras ausentes (> 40 amostras) <sup>(a)</sup> Uma amostra positiva ( $\leq$ 40 amostras) <sup>(a)</sup>	Ausência em 100 mL
Turbidez da água filtrada	Máximo de 1,0 uT <sup>(2)</sup> 25 % < 0,5 uT em 2013 50 % < 0,5 uT em 2014 75 % < 0,5 uT em 2015 95 % < 0,5 uT em 2016	Máximo de 1,0 uT <sup>(a)</sup> 95 % < 0,3 uT <sup>(a)</sup>	5,0 uT
Cloro livre	0,2 mg L <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup> a 2 mg L <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup> Máximo de 5 mg L <sup>-1</sup> <sup>(7)</sup>	4 mg L <sup>-1(a)</sup>	5 mg L <sup>-1</sup>
Cor aparente	15 uH <sup>(5)</sup>	15 uH <sup>(b)</sup>	15 uH
Fluoreto	0,7 mg L <sup>-1</sup> a 1,0 mg L <sup>-1</sup> <sup>(6)</sup> Máximo de 1,5 mg L <sup>-1</sup> <sup>(7)</sup>	2 mg L <sup>-1(b)</sup> Máximo de 4 mg L <sup>-1(a)</sup>	1,5 mg L <sup>-1</sup>
pH	Entre 6 e 9,5 <sup>(8)</sup>	6,5 a 8,5 <sup>(b)</sup>	- <sup>(d)</sup>

(1) Na saída do tratamento, estabelecido no anexo I da Portaria de Consolidação nº 5.

(2) Estabelecido no anexo III da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde.

(3) No sistema de distribuição, estabelecido no artigo 34 da Portaria de Consolidação nº 5.

(4) Recomendação no parágrafo segundo do artigo 39 da Portaria de Consolidação nº 5.

(5) No sistema de distribuição, estabelecido no anexo X da Portaria de Consolidação nº 5.

(6) Intervalo recomendado, quadro 1 da Portaria 635 (BRASIL, 1975).

(7) No sistema de distribuição, estabelecido no anexo VII da Portaria de Consolidação nº 5.

(8) Intervalo estabelecido no parágrafo primeiro do artigo 39 da Portaria de Consolidação nº 5.

(a) Padrão Primário (National Primary Drinking Water Regulations) (USEPA, 2009).

(b) Padrão Secundário (*National Secondary Drinking Water Regulations*).

(c) WHO (2011).

(d) Não é considerado como de risco à saúde nos níveis usualmente encontrados na água potável.

Ressalta-se que os diferentes métodos de medição influenciam diretamente tanto na determinação dos parâmetros de qualidade da água tratada quando no atendimento destes aos padrões de qualidade. Por exemplo, a determinação da turbidez, principal parâmetro na avaliação de desempenho de ETA, pode apresentar resultados variáveis para uma mesma amostra, dependendo do aparelho utilizado. Os resultados obtidos por Teixeira *et al.* (2004) mostraram que a turbidez de água filtrada medida com turbidímetros de escoamento contínuo era consistentemente menor que aquela medida com turbidímetros de bancada. No entanto, tendo em vista a precariedade do saneamento básico em muitas regiões do país, ainda não é uma realidade a padronização do princípio de funcionamento desses equipamentos, ou a equiparação dos resultados obtidos por equipamentos distintos.

## **4.4 Métodos de avaliação de desempenho de ETA**

### **4.4.1 Métodos tradicionais de avaliação de desempenho de ETA**

Diferentes métodos podem ser utilizados na avaliação do desempenho de ETA. Alguns autores fazem a avaliação a partir do cálculo da estatística descritiva e da distribuição de frequência de diferentes variáveis dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Também são calculadas, a partir desses dados, as eficiências de remoção desses parâmetros.

No trabalho de Bastos *et al.* (2000, 2003) foi avaliado o desempenho de duas ETA utilizando, além da avaliação estatística e eficiências de remoção, a simulação da eficiência das estações em escala laboratorial (*Jar Test*) e a verificação dos parâmetros hidráulicos atuais em comparação com os valores de projeto. Todas essas informações, em conjunto, possibilitam uma análise mais dinâmica do desempenho de ETA, verificando não somente a qualidade final da água produzida, mas também o estado de manutenção das unidades e equipamentos. Esse diagnóstico estatístico e hidráulico das estações de tratamento permite também identificar quais são os problemas mais frequentes e a causa destes. A partir desses trabalhos foram identificados alguns problemas de funcionamento na ETA de Viçosa-MG, servindo de subsídio para uma série de intervenções que essa ETA sofreu em 2004. Em 2006, após adaptações nos filtros (instalação de blocos *Leopold* e fundos falsos, renovação dos leitos filtrantes) e nos decantadores (instalação de bordas vertedoras ajustáveis), pôde-se verificar o melhor desempenho da ETA de Viçosa (BASTOS *et al.*, 2004, 2006).

Nesse contexto, Rocha *et al.* (2009) aferiram as características da ETA automatizada de Itapetinga-BA, localizada na região sudoeste do estado. No estudo foi realizado o acompanhamento de diferentes parâmetros físico-químicos da água bruta, decantada e filtrada com coletas três vezes ao dia no ano de 2007. A partir dos dados foram calculadas as médias mensais dos parâmetros e, para cor aparente e turbidez, foram também calculadas as eficiências de remoção médias. Todos os parâmetros atenderam aos padrões da legislação e a remoção apresentou elevadas eficiências.

Ali *et al.* (2012) analisaram o desempenho de duas estações de tratamento de água, com captação superficial em Islamabad, no Paquistão, país que possui 64 % de seus mananciais de água potável contaminados com coliformes totais. As coletas foram realizadas quinzenalmente durante o período de um ano, as mesmas eram encaminhadas para análises laboratoriais a fim de estudar alguns parâmetros físicos e químicos, sendo a turbidez e os coliformes, os pontos de destaques no trabalho. Os resultados foram avaliados a partir da

estatística descritiva, comparados com as recomendações da *World Health Organization* (WHO), além de serem calculadas as eficiências de remoção de turbidez e coliformes. Os resultados indicaram atendimento às recomendações da WHO e que a qualidade dos mananciais em termos de turbidez e coliformes deve ser melhorada a partir da proteção dos mesmos.

Makungo *et al.* (2011) examinaram o desempenho da ETA de Mutshedzi, localizada na África do Sul, com objetivo de agregar informações para o estudo de caso em questão e também para ETA de pequeno porte em geral, uma vez que a literatura indica que aproximadamente 50 % dessas estações não produzem água potável com qualidade e quantidade adequadas. O período de coleta das amostras foi de seis meses, ou seja, de julho a dezembro de 2009. Foram coletados dados dos parâmetros pH, condutividade elétrica, turbidez e vários parâmetros químicos (metais e não-metais). Os dados foram avaliados com auxílio de gráficos de série temporal e estatística descritiva, sendo comparados com as recomendações para qualidade da água da África do Sul. O atendimento para a água tratada dos diversos parâmetros variou entre 86% e 93% para o período avaliado, com turbidez e fluoreto excedendo os limites recomendados.

A avaliação das eficiências de remoção nos processos de tratamento de água é um método amplamente utilizado, porém se realizado isoladamente não permite avaliar o atendimento aos padrões de potabilidade. Para a realização de uma análise de desempenho de alta confiabilidade de ETA, deve-se associar esse método com a comparação dos resultados da estatística descritiva (média, mediana, máximo, mínimo, etc.) com os limites de potabilidade. Mesmo assim, a qualidade dessa comparação depende dos padrões com que os resultados são comparados, como no caso do estudo de Makungo *et al.* (2011), que não usou padrões restritivos de turbidez, ou seja, baseou-se apenas nas recomendações da WHO.

Além da verificação da estatística descritiva e da eficiência também são empregados modelos matemáticos de simulação para avaliar o funcionamento de ETA durante a concepção destas (TOWLER *et al.*, 2009; RAO SRINIVASA; SHRIHARI, 2010; LAMRINI *et al.*, 2011; MOSTAFA *et al.*, 2013; JUNTUNEN *et al.*, 2013). Além disso, de acordo com Ventura *et al.* (2014), a modelagem matemática permite simular o desempenho de uma ETA projetada e otimizar seu processo antes de sua implantação, avaliando a influência de cada unidade no desempenho das demais.

Para avaliar a remoção de matéria orgânica natural via coagulação, Towler *et al.* (2009) compararam o uso de dois métodos de regressão tradicionais – linear e não-paramétrico – utilizando como variáveis o carbono orgânico total (COT), indicativo da matéria orgânica, pH e alcalinidade, dois parâmetros que influenciam o processo de coagulação. Foi utilizado o banco de dados da USEPA de ETA convencionais com captação superficial. Todos os parâmetros avaliados adequaram-se bem ao modelo não-paramétrico em comparação com o linear, especialmente o pH.

Rao Srinivasa e Shrihari (2010) realizaram a análise de sensibilidade de uma ETA indiana como estudo de caso, a partir do uso de programação dinâmica. Foram consideradas variáveis de diferentes unidades da estação, com destaque para a unidade de mistura lenta (ou floculação), sendo calculados os coeficientes de sensibilidade para diversos parâmetros. O modelo obtido foi estável, sendo as principais limitações, indicadas pelos autores, a não variação da qualidade da água bruta dos parâmetros pH e alcalinidade; tal fato era decorrente da adição de coagulantes.

Gupta e Shrivastava (2010) utilizaram uma associação de modelos estocásticos de algoritmos genéticos com a simulação de Monte Carlo para encontrar soluções ideais de funcionamento de uma ETA teórica. Os autores utilizaram os algoritmos genéticos com o intuito de avaliar as incertezas associadas ao funcionamento de uma ETA, que usualmente não são levadas em consideração em outros modelos. Um desses casos de incerteza seria o dos sólidos em suspensão na água bruta (GUPTA & SHRIVASTAVA, 2006) que, se não considerados devidamente, podem levar a resultados de efluentes que descumprem os padrões de qualidade.

Em outro estudo de modelagem, Lamrini *et al.* (2011) desenvolveram um tipo de rede neural artificial denominado mapa de auto-organização, com o objetivo de aprimorar dados de monitoramento contínuo em uma ETA de Marrakech, Marrocos. Ao permitir a detecção e diferenciação de dados atípicos, tais como negativos e *outliers*, esse tipo de programação permite melhorar a entrada de dados de qualidade de água bruta em sistemas automáticos de controle de coagulação. Esse tipo de modelagem se aplica também à reconstrução do banco de dados, além do aprimoramento deste, sendo interessante, por exemplo, para complementar os dados muitas vezes esparsos temporalmente pela falta de análises contínuas. Dados negativos, nulos, dentre outros, atrapalham o processo de análise em diferentes *softwares* estatísticos, e podem gerar grande trabalho em sua correção.

O uso de programação dinâmica em estudo de desempenho de unidades de estação de tratamento de água também foi realizado por Mostafa *et al.* (2013) para avaliar a variação dos custos de ETA a partir da variação do desempenho. Também foi utilizada a análise de sensibilidade dos parâmetros avaliados.

Juntunen *et al.* (2013) utilizaram também um mapa de auto-organização em seu estudo para modelar a qualidade da água de uma ETA localizada em Kuopio, Finlândia, como estudo de caso. Após a geração do mapa foram utilizados algoritmos para avaliá-los. As conclusões deste estudo também indicam positivamente o uso desse método para avaliar bancos de dados amplos e com dados faltantes, além de citar que no futuro os mapas de auto-organização poderiam ser utilizados como gráficos de controle para monitorar e prever o funcionamento de ETA.

Redes neurais podem ser utilizadas para fazer previsão de eficiência de tratamento em ETA. Juntunen *et al.* (2013), utilizaram dois tipos de modelos computacionais conjuntamente para modelar a qualidade da água em seu tratamento, tendo em vista os diversos fenômenos físicos e químicos difíceis de se avaliar nos processos unitários do tratamento de água. Foi proposta a aplicação de técnicas de mapas auto organizados (redes neurais) combinadas ao método de *clustering* de *K-means* resultando em um meio descritivo e funcional de visualizar e estudar os processos de tratamento de água.

Kim e Parnichkun (2017) propuseram um modelo híbrido entre redes neurais artificiais e método de *clustering*. Foram utilizados o sistema de inferência adaptativa *fuzzy* (ANFIS) e o modelo agrupamento de *k-means* para prever a dosagem ótima de coagulante no processo de tratamento de água e assim auxiliar o gerenciamento da qualidade da água tratada e os custos de produção simultaneamente. O modelo final mostrou uma capacidade de predição mais precisa e consistente do que um único modelo de ANFIS e um único modelo de redes neurais.

Outra forma bastante utilizada para avaliação de desempenho de ETA é a elaboração de indicadores. Lopes (2005) propôs um Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA) para avaliar o desempenho de estações de tecnologia convencional de tratamento. O índice desenvolvido incluiu parâmetros agrupados de acordo com as diferentes unidades do tratamento, além do grupo referente à operação de ETA, para avaliar a qualidade da equipe de operação. Essa divisão foi realizada visando obter um índice global do tratamento a partir de índices parciais que permitem, por exemplo, identificar se uma unidade específica é responsável por abaixar o índice de todo o processo. Cada parâmetro e cada

grupo de parâmetros teve um peso atribuído. Os índices foram aplicados a 10 ETA de diferentes portes, sendo em seguida correlacionados à turbidez da água filtrada das estações, de modo a comparar um elevado IQETA com um bom desempenho em relação à turbidez.

Com o intuito de aperfeiçoar o índice desenvolvido por Lopes (2005), Almeida (2009) propôs a redução do número de parâmetros do IQETA, devido aos problemas associados à obtenção por longo prazo de dados ambientais frequentes. Ao final, foi reduzido o número de parâmetros de 19 para 12, obtendo mesma correlação do indicador com a performance das ETA.

O sistema de inferência adaptativa *fuzzy* também foi utilizado por Oliveira *et al.* (2014) na concepção de um índice de qualidade de água bruta (IQABF) a partir de dados operacionais de seis sistemas de abastecimento de água dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. Os parâmetros relacionados à água bruta foram: algas/clorofila-*a*, *Escherichia coli*, cor aparente, cianobactérias, ferro, manganês, pH e turbidez, necessários ao cálculo dos índices propostos. O IQABF apresentou-se mais restritivo, mais consistente para quantificação dos parâmetros e mais flexível para ajustes futuros, apesar de manter praticamente a mesma hierarquização entre os mananciais avaliados.

Quando se deseja analisar a variabilidade de uma tecnologia de tratamento, os gráficos de controle de qualidade podem ser utilizados para o controle e a melhoria da qualidade de sistemas e processos. Eles possibilitam, ainda, a detecção de fontes não usuais de variabilidade nos processos, o que permite que ações corretivas possam ser tomadas para remoção das alterações ou falhas presentes. Apesar de pouco usuais para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água, são ferramentas válidas e simples que podem ser utilizadas (SMETI, 2007).

Honorato e Costanzi (2013) utilizaram gráficos de controle de Shewhart e índice de capacidade do processo para verificar ocorrências de variações específicas nos parâmetros de turbidez e pH da água tratada na ETA da cidade de Londrina-PR, avaliando dados de 2007 a 2009. Foram realizados testes de verificação da normalidade dos dados, para aplicação dos gráficos de controle. Os resultados obtidos demonstraram que os testes aplicados podem acompanhar com facilidade os limites de controle estatísticos adequados aos dados e, dessa forma, são viáveis para uso no monitoramento de parâmetros de processos de ETA (como a turbidez), principalmente em sistemas automatizados.

#### 4.4.2 Análise de confiabilidade de estações de tratamento de água

O uso de métodos probabilísticos para estabelecer padrões é uma abordagem realista e prática do ponto de vista operacional (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2008). Nesse sentido, exemplo mais evidente é o padrão de turbidez da água após filtração estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde, definido por valores absolutos acompanhados dos respectivos percentuais de atendimento, os quais estabelecem metas progressivas que passaram a vigorar a partir do final de 2012.

A adoção de limites acompanhados de percentuais de atendimento exige o conhecimento detalhado do comportamento dos parâmetros considerados. As ETA devem ser projetadas de forma a acomodar a variabilidade esperada das características do efluente para que as metas sejam satisfeitas. Neste sentido, ferramentas como o modelo de confiabilidade, desenvolvido para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água, podem contribuir de maneira muito relevante para a análise de desempenho de estações de tratamento.

A confiabilidade de um sistema pode ser definida como a probabilidade de se conseguir um desempenho adequado por um período específico de tempo, sob determinadas condições. Assim, em termos de desempenho de uma estação de tratamento, seja de água ou esgoto, a confiabilidade pode ser entendida como a porcentagem de tempo em que se consegue as concentrações esperadas no efluente para cumprir com os padrões de distribuição ou de lançamento. Assim, uma ETA será completamente confiável se não houver falha no desempenho, ou seja, se não houver violação dos limites preconizados pelas legislações. A falha do processo de tratamento ocorrerá sempre que o padrão de distribuição não for cumprido.

Dean e Forsythe (1976) comentam que a probabilidade de falha é extremamente sensível à função de distribuição da concentração do parâmetro analisado. Conhecida esta distribuição, uma expressão pode ser utilizada para definir a fração do tempo em que uma dada concentração foi excedida no passado e, desta forma, prever o comportamento futuro de uma ETE, desde que as variáveis do processo continuem as mesmas.

Devido às variações na qualidade da água tratada, a estação de tratamento deve ser naturalmente projetada para produzir uma concentração média efluente abaixo dos padrões. Para determinar uma concentração média que garanta que a concentração do efluente estará abaixo de certo valor, com um determinado nível de confiabilidade, Niku *et al.* (1979) desenvolveram um método que relaciona a concentração média do constituinte (valor de

projeto) com os valores limites a serem cumpridos, baseando-se em análises probabilísticas. Este método tem sido muito utilizado para avaliação de desempenho de ETE (Niku *et al.*, 1981, 1982, Niku e Schroeder, 1981, Metcalf & Eddy, 2003; Oliveira, 2006; Oliveira e Sperling, 2006; Oliveira e Sperling, 2007; Oliveira e Sperling, 2008), mas não para ETA, mas nada impede que a metodologia seja aplicada, caso os pressupostos sejam cumpridos.

#### **4.4.3 Técnicas estatísticas multivariadas empregadas para avaliação de desempenho de ETA**

A avaliação dos dados de monitoramentos, sejam eles oriundos das mais diversas fontes, na maioria das vezes, se restringe apenas à análise dos parâmetros individualmente, com comparações dos resultados com os padrões legais.

No entanto, é inegável a utilidade dos tratamentos estatísticos multivariados na análise de grandes e complexos conjuntos de dados. As técnicas estatísticas multivariadas e a análise exploratória de dados são ferramentas apropriadas para uma redução significativa das observações, permitindo a análise e interpretação desses complexos conjuntos de dados (SINGH *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2007; KOKLU *et al.*, 2010).

Destacam-se dentre as técnicas estatísticas multivariadas a Análise de Cluster (AC), Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF), por serem mais empregadas na avaliação de dados.

A Análise de Cluster (AC), também conhecida como Análise de Agrupamento é um método que divide um grande grupo de objetos em pequenas classes (cluster), com base em semelhanças dentro de uma classe e diferenças entre as demais classes (PANDA *et al.*, 2006; KANNEL *et al.*, 2007). Portanto, as classes resultantes de objetos devem apresentar alta homogeneidade interna (dentro dos clusters) e alta heterogeneidade externa (entre cluster) (SHRESTHA e KAZAMA, 2007; KAZI *et al.*, 2009; FAN *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2011).

A análise de cluster é uma técnica utilizada para agrupar objetos com base nas características que possuem (SIMEONOV *et al.*, 2003). Assim, a estrutura de um conjunto de dados de alta complexidade é simplificada sem perder informação útil (HAIR *et al.*, 2009). A abordagem mais comum é o agrupamento hierárquico, no qual os clusters são formados em sequência iniciando com o par mais semelhante de objetos e formando aglomerados mais elevados (FAN *et al.*, 2010; VOZA, 2015).

Os métodos de estatística multivariada têm sido aplicados a matrizes de dados de monitoramento da qualidade da água com grande frequência, tendo em vista, diversos objetivos, como: caracterizar e avaliar a qualidade das águas dos rios (SINGH *et al.*, 2005; KOWALKOWSKI *et al.*, 2006; BU *et al.*, 2010; MUANGTHONG & SHRESTHA, 2015), extrair informações sobre as similaridades e as diferenças entre períodos, parâmetros e pontos de monitoramento (VEGA *et al.*, 1998; OMO-IRABOR *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2011), identificar as possíveis fontes de poluição de diferentes pontos de um corpo d'água (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004; BHAT *et al.*, 2014), dentre outros.

Bayo & Lopez-Castellanos (2016) utilizaram análise multivariada para auxiliar na verificação da eficiência de desempenho de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), urbana, situada no Sudeste de Espanha. Fez-se uso tanto da análise fatorial como da análise de agrupamento hierárquico para agrupar os parâmetros de qualidade do efluente dessa estação visando observar o cumprimento das exigências legislativas impostas pela União Europeia para o lançamento das águas residuais no corpo receptor.

Outro trabalho que também utilizou os métodos multivariados em ETE, porém agrupando os anos de tratamento foi Ismail (2013). O estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de desempenho da ETE de Al-Rustamiyah em termos de qualidade de efluentes na cidade de Bagdá utilizando a análise de cluster. A ETE tinha capacidade de projeto de 300 mil L/dia e a tecnologia de tratamento aplicada era Lodos Ativados. Foram analisados quatro parâmetros principais durante um período de seis anos. A análise de clusters mostra que os anos 2007, 2008, 2009 e 2011 indicam um bom nível de tratamento comparado com os anos de 2006 e 2010. A qualidade final do efluente (em termos de valor médio de seis anos) não atende aos regulamentos estabelecidos pelas Normas Nacionais Iraquianas.

Em termos de estações de tratamento de água, as ferramentas de análise multivariada foram utilizadas em determinadas etapas específicas do tratamento ou até mesmo analisando qualidades microbianas nas águas a serem tratadas, voltando para o monitoramento de qualidade de água de corpos d'água. Como exemplo cita-se o trabalho de Lautenschlager *et al.* (2013) onde foram realizadas análises multivariadas abrangendo diferentes aspectos da qualidade microbiana da água, incluindo o potencial de seu crescimento, a sua abundância e a composição da sua comunidade para monitorar a estabilidade biológica na água potável do sistema de tratamento, distribuição e de água não clorada de Zurique. A abordagem forneceu uma ferramenta poderosa e sensível para avaliar a estabilidade biológica e processos microbianos em sistemas de distribuição de água potável.

A análise multivariada também foi utilizada por Leavey-Roback *et al.* (2016) com o objetivo de determinar quais os fatores são mais altamente correlacionados com a concentração da substância carcinogênica Nitrosodimetilamina (NDMA) na água, após passar por uma estação de tratamento, utilizando um modelo de efeitos mistos com um intercepto aleatório. O resultado obtido foi a correlação entre substâncias precursoras do NDMA e o uso do polímero POLIDADMAC, também o uso de ozônio e o tratamento com carbono ativado granular.

Astel *et al.* (2006) avaliaram as variações tanto temporais quanto espaciais e interpretaram dados de monitoramento obtidos pela determinação de subprodutos de desinfecção de cloro/bromo na água potável em 12 locais na região de Gdansk (Polónia), durante o período 1993 - 2000. A análise combinou técnicas multivariadas e de inferência estatística. A análise de clusters resultou em dois grupos diferentes de similaridade, refletindo diferentes tipos de água potável fornecida (água superficial e subterrânea). A análise de variância (ANOVA) provou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os níveis de concentração de  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CHBrCl}_2 + \text{C}_2\text{HCl}_3$ ,  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  e  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  nas amostras coletadas. O estudo mostrou a importância do monitoramento da água potável em relação a ferramentas estatísticas para entender melhor as variações na qualidade da água.

Ressalta-se que os estudos que consideram dados secundários oriundos de monitoramento de ETA em escala real são escassos ou analisam dados de um número reduzido de estações e tecnologias de tratamento. Quanto à aplicação de estatísticas multivariadas, poucos estudos aplicaram essas análises para dados de ETA e, quando assim, o foco tem sido para outros parâmetros, às vezes sem considerar a turbidez, e alguns trabalhos focaram outras questões, como os fatores que influenciam a formação de subprodutos de desinfecção (OHNO *et al.* 2009; SMETI *et al.* 2009; RWOO *et al.* 2014; LEAVEY-ROBACK *et al.* 2016).

## **5 LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS**

### **5.1 Introdução**

O levantamento e a caracterização de dados secundários de monitoramento são tarefas dispendiosas e que merecem devida atenção, uma vez que as demais etapas do trabalho dependem da qualidade do banco de dados sistematizado. Embora os dados de monitoramento de estações de tratamento de água devessem ser de domínio público, a maioria das estações não disponibilizam tais dados. Quando os dados estão disponíveis geralmente representam uma pequena amostra, poucos parâmetros para um curto período de tempo, e sem padronização.

A obtenção dos dados de monitoramento das estações de tratamento de água avaliadas foi efetuada por meio de visitas técnicas aos prestadores de serviços de saneamento, de três estados do Brasil, durante três anos. As informações consistiram de características da água bruta e da água tratada de 45 estações de tratamento de água, todas operadas por concessionárias, para os parâmetros: vazão, turbidez, cor aparente, pH e concentrações de cloro e flúor residuais. A maioria dos dados foi disponibilizada em relatórios impressos, sendo necessária a digitação de cerca de sete milhões de observações. Considerando a ampla diversidade climática e econômica das regiões abrangidas, acredita-se que os dados coletados para este estudo sejam representativos dos tipos de processos de tratamento de água em operação em grande parte do país.

### **5.2 Objetivo**

Organizar e sistematizar os dados de 45 ETA em três unidades federativas brasileiras.

### **5.3 Metodologia**

#### **5.3.1 Características das estações de tratamento de água**

Os dados de vazão e dos parâmetros de qualidade da água bruta e tratada de todas as estações de tratamento foram analisados em função da tecnologia de tratamento, do porte e do manancial utilizado. As tecnologias de tratamento, os critérios para determinação do porte das estações e os tipos de mananciais são apresentados a seguir.

##### **5.3.1.1 Tecnologias de tratamento**

Foram analisadas cinco tecnologias de tratamento: ciclo completo com flotação (CF), convencional (CN), filtração direta (FD), dupla filtração (DF) e oxidação com filtração (OF).

### 5.3.1.2 Porte

Algumas opções foram avaliadas como critério de determinação do porte das estações. Uma delas considerou a referência de classificação adotada pelo IBGE para definição de municípios de pequeno (até 50.000 habitantes), médio (de 50.001 a 100.000 habitantes) e grande porte (acima de 100.001 habitantes). Esse critério já foi adotado por Ventura *et al.*, (2014), que utilizou as seguintes vazões para os três portes em questão:

- Municípios de pequeno porte: até 200 L/s;
- Municípios de médio porte: de 201 até 400 L/s;
- Município de grande porte: acima de 401 L/s.

A outra opção para definição de porte das ETA está descrita na DN COPAM 217/2017 (MINAS GERAIS, 2017): estações cuja vazão está compreendida entre 20 L/s e 100 L/s são consideradas de pequeno porte; já as estações cuja vazão está entre 100 L/s e 500 L/s, são consideradas de médio porte; por fim, estações que possuem vazão superior a 500 L/s, grande porte. Mesmo se tratando de uma deliberação estadual, tal caracterização foi considerada no presente trabalho como base para proposição de um novo critério, visto que o primeiro método foi obtido com base no consumo per capita, variável em função de IDH, população, condições climáticas, medição de água, pressão na rede e preço da água (TSUTIYA, 2006). Além disso, a DN COPAM 217/2017 estabelece critérios segundo vazão de tratamento e o primeiro método leva em consideração a vazão consumida (negligenciando aspectos como o índice de perdas na distribuição, por exemplo).

Os dados de monitoramento em escala real, obtidos nesta pesquisa, mostraram que a vazão prevista em projeto para classificação do porte apresentava grande discrepância quando confrontada com a vazão efetivamente tratada. Foi verificado que poucas ETA tratavam vazões compatíveis com as de projeto e, em vários casos, em dias isolados tratavam uma vazão muito acima ou muito abaixo daquela informada. A partir da análise das estatísticas descritivas das estações de pequeno porte, por exemplo, verificou-se que as mesmas operam com grande sobrecarga, tratando uma vazão que, segundo a classificação da DN COPAM 217/2017, seria de médio porte. Visando uma homogeneidade e distribuição dos dados de acordo com o porte foi realizada uma nova divisão, considerando intervalos de dados de vazão até o percentil 95%, sendo desconsiderados os 5% maiores que o limite superior. Desta forma, quando o percentil 95%, ou seja, quando 95% dos dados de vazão de uma estação apresentavam valores compreendidos entre 20 L/s e 150 L/s, as estações foram consideradas

de pequeno porte. Já as estações cujo percentil 95% da vazão estava entre 150 L/s e 500 L/s, foram consideradas de médio porte, por fim, estações que possuíam percentil 95% da vazão superior a 500 L/s, grande porte. A Tabela 5.1 apresenta um resumo dos critérios considerados e o adotado no presente trabalho.

**Tabela 5.1** – Critérios de porte das estações, considerando a vazão tratada pelas estações

Porte	Ventura <i>et al.</i> (2014)	DN COPAM 217/2017	Perc. 95% da vazão tratada
Pequeno	Até 200 L/s	20 L/s a 100 L/s	Até 150 L/s
Médio	201 a 400 L/s	101 L/s a 500 L/s	151 L/s e 500 L/s
Grande	> 401 L/s	> 501 L/s	> 501 L/s

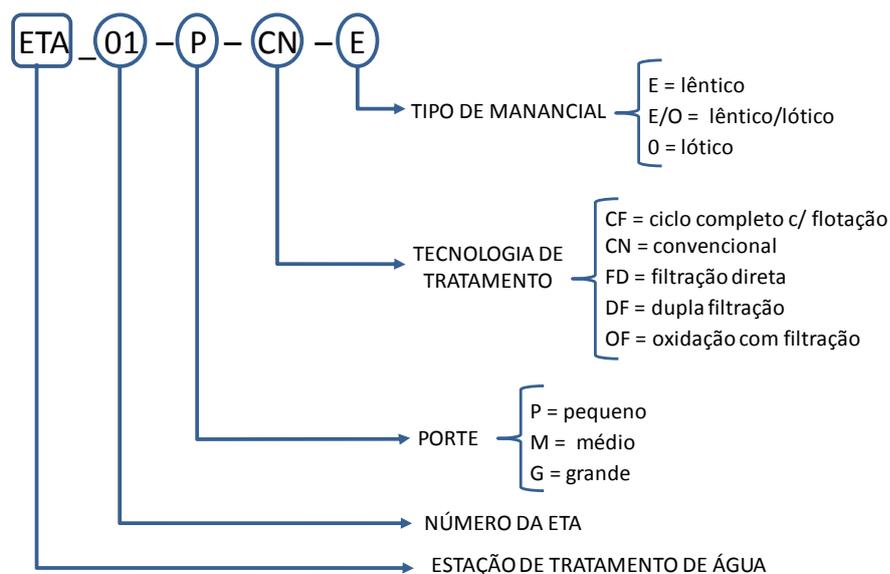
As faixas de vazões considerando o percentil 95 e admitindo o consumo *per capita* de 200 L/hab.d tem capacidade de abastecimento para pequeno porte para até 36.000 habitantes, para médio porte de 36.001 até 120.000 habitantes e grande porte mais de 120.000 habitantes.

#### 5.3.1.3 Tipo de manancial

Para a avaliação da qualidade da água bruta procedeu-se à caracterização do tipo de manancial superficial, com a diferenciação entre fontes de abastecimento exclusivamente lótico (rios), exclusivamente lântico (represa, lago e barragem de acumulação) e lântico/lótico, sendo que os últimos apresentam mais de um ponto de captação.

Foi acordado com as entidades que forneceram os dados, que as estações de tratamento de água não seriam identificadas pelo seu nome, mas sim por um código. Desta forma, para manter sigilo, padronizar e facilitar o entendimento do leitor ao longo do trabalho, as ETA foram nomeadas conforme Figura 5.1.

**Figura 5.1 – Composição do nome de cada estação**



### 5.3.2 Análise estatística preliminar dos dados

Os dados operacionais foram disponibilizados de acordo com a especificidade de cada ETA, ou seja, a grande maioria realizava a coleta de amostras da água bruta duas vezes ao dia enquanto as de água tratada eram realizadas de acordo com a variação da qualidade da água, com a tendência de sempre atender as recomendações da legislação brasileira que sugere que as medições sejam realizadas em intervalos de duas em duas horas.

Assim, os dados das estações foram padronizados de forma a facilitar sua utilização e consulta. Primeiramente foi realizada a organização e sistematização dos dados em planilhas segundo a vazão tratada (da menor para a maior vazão: ETA com menor vazão igual a ETA número 1 e assim por diante) e posteriormente os dados de cada estação foram colocados em ordem cronológica de monitoramento. O período de abrangência dos dados experimentais de monitoramento das ETA variou de janeiro de 2010 a junho de 2017.

Nesta etapa foi quantificado o número de dados dos parâmetros de qualidade da água bruta e tratada, considerando vazão, turbidez, cor aparente, pH e concentrações de cloro e flúor residuais, para todas as estações em análise.

#### 5.3.2.1 Identificação de outliers

A identificação dos *outliers* foi realizada a partir da técnica de amplitude interquartis (AIQ), que é dada pela diferença entre  $Q_{75}$  e  $Q_{25}$ , respectivamente, o terceiro e o primeiro quartil, ou seja, foi considerado como *outlier* superior todo valor maior que  $(Q_{75}+1,5AIQ)$  e como *outlier*

inferior todo valor menor que ( $Q_{25}-1,5AIQ$ ) (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A investigação da presença de *outliers* foi efetuada para todos os dados (turbidez, cor aparente e pH das águas bruta e tratada e cloro residual e flúor residual da água tratada).

#### 5.3.2.2 Verificação da normalidade dos dados

A normalidade dos dados foi verificada por meio da execução do teste de normalidade de *Shapiro Wilk* e do teste gráfico *Normal Probability Plot* através do “software” XLSTAT.

#### 5.3.3 **Estatística descritiva dos valores medidos na água bruta e tratada**

A estatística descritiva das concentrações e valores medidos na água bruta e tratada, para todos os parâmetros de qualidade da água consistiu no cálculo da média, mediana, mínimo, máximo, percentis 10, 25, 75, 90 e 95%, coeficiente de assimetria, desvio-padrão e coeficiente de variação.

As estatísticas descritivas foram apresentadas na forma de tabelas e gráficos *box-whisker*, onde se buscou mostrar a variabilidade dos parâmetros monitorados nas diversas estações de tratamento.

### 5.4 **Resultados e discussões**

#### 5.4.1 **Características das estações de tratamento de água**

As séries históricas de dados de monitoramento das estações de tratamento de água foram obtidas de concessionárias de três estados brasileiros. No total, foram obtidos dados de mais de 60 estações, porém, para este estudo, serão consideradas 45 estações, de cinco tecnologias de tratamento: ciclo completo com flotação (CF), convencional (CN), filtração direta (FD), dupla filtração (DF) e oxidação com filtração (OF). Salienta-se que as demais estações foram excluídas da análise pois não possuíam a série histórica completa ou até mesmo devido ao grande número de dados faltantes.

As informações de cada estação de tratamento de água avaliada, considerando a vazão tratada, o porte, o tipo de tecnologia e de manancial, além do nome de referência da ETA, estão expostas na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2** – Relação das ETA avaliadas, considerando as vazões, de projeto e tratada, porte, tipo de tecnologia e de manancial e nome de referência

Estação	Vazão de projeto (L/s)	Perc. <sup>1</sup> 95% da Vazão tratada (L/s)	Porte	Tecnologia	Tipo de Manancial	Nome de referência da ETA
ETA 01	35	25	P	CN	Lêntico	ETA_01-P-CN-E
ETA 02	50	53	P	CN	Lótico	ETA_02-P-CN-O
ETA 03	50	57	P	CN	Lêntico/Lótico	ETA_03-P-CN-EO
ETA 04	50	51	P	CN	Lótico	ETA_04-P-CN-O
ETA 05	50	54	P	CN	Lótico	ETA_05-P-CN-EO
ETA 06	50	61	P	CN	Lótico	ETA_06-P-CN-O
ETA 07	50	53	P	FD	Lêntico	ETA_07-P-FD-E
ETA 08	50	57	P	FD	Lótico	ETA_08-P-FD-O
ETA 09	50	57	P	CN	Lótico	ETA_09-P-CN-O
ETA 10	70	120	P	CN	Lótico	ETA_10-P-CN-O
ETA 11	70	69	P	CN	Lótico	ETA_11-P-CN-O
ETA 12	70	70	P	CN	Lêntico/Lótico	ETA_12-P-CN-EO
ETA 13	80	76	P	CN	Lótico	ETA_13-P-CN-O
ETA 14	80	83	P	CN	Lótico	ETA_14-P-CN-O
ETA 15	80	88	P	CN	Lótico	ETA_15-P-CN-O
ETA 16	80	93	P	CN	Lêntico/Lótico	ETA_16-P-CN-EO
ETA 17	90	95	P	CN	Lótico	ETA_17-P-CN-O
ETA 18	90	91	P	FD	Lótico	ETA_18-P-FD-O
ETA 19	100	98	P	CN	Lêntico	ETA_19-P-CN-E
ETA 20	100	130	P	CN	Lótico	ETA_20-P-CN-O
ETA 21	100	109	P	CN	Lótico	ETA_21-P-CN-O
ETA 22	100	102	P	FD	Lótico	ETA_22-P-FD-O
ETA 23	100	115	P	DF	Lêntico	ETA_23-P-DF-E
ETA 24	100	101	P	CN	Lótico	ETA_24-P-CN-O
ETA 25	100	130	P	CN	Lótico	ETA_25-P-CN-O
ETA 26	120	153	M	CN	Lótico	ETA_26-M-CN-O
ETA 27	150	153	M	CN	Lótico	ETA_27-M-CN-O
ETA 28	150	162	M	CN	Lótico	ETA_28-M-CN-O
ETA 29	150	174	M	CN	Lótico	ETA_29-M-CN-O
ETA 30	150	193	M	CN	Lótico	ETA_30-M-CN-O
ETA 31	200	205	M	CN	Lótico	ETA_31-M-CN-O
ETA 32	250	412	M	CN	Lótico	ETA_32-M-CN-O
ETA 33	250	270	M	CN	Lótico	ETA_33-M-CN-O
ETA 34	300	304	M	CN	Lótico	ETA_34-M-CN-O
ETA 35	300	352	M	CN	Lótico	ETA_35-M-CN-O
ETA 36	300	285	M	CN	Lótico	ETA_36-M-CN-O
ETA 37	400	363	M	CN	Lêntico	ETA_37-M-CN-E
ETA 38	400	374	M	CN	Lótico	ETA_38-M-CN-O
ETA 39	500	650	G	CN	Lêntico	ETA_39-G-CN-E
ETA 40	500	635	G	CN	Lêntico	ETA_40-G-CN-E
ETA 41	700	855	G	OF	Lêntico	ETA_41-G-OF-E
ETA 42	1500	1450	G	CF	Lêntico	ETA_42-G-CF-E
ETA 43	3000	2970	G	FD	Lêntico	ETA_43-G-FD-E
ETA 44	4000	5300	G	CN	Lêntico	ETA_44-G-CN-E
ETA 45	7500	7750	G	CN	Lótico	ETA_45-G-CN-O

<sup>1</sup> Percentil 95%

A Tabela 5.3 apresenta a distribuição da quantidade de ETA por tecnologia, a Tabela 5.4 por porte e a Tabela 5.5 por manancial.

**Tabela 5.3 – Número de Estações de Tratamento de Água, por tecnologia**

Tecnologia	CF	CN	FD	DF	OF	Total
Nº de ETA	1	37	5	1	1	45
Percentual (%)	2,2	82,2	11,1	2,2	2,2	100

**Tabela 5.4 – Número de Estações de Tratamento de Água, por porte**

Porte	P (entre 20 e 150 L/s)	M (entre 150 e 500 L/)	G (> 500 L/s)	Total
Nº de ETA	25	13	7	45
Percentual (%)	55,6	28,9	15,6	100

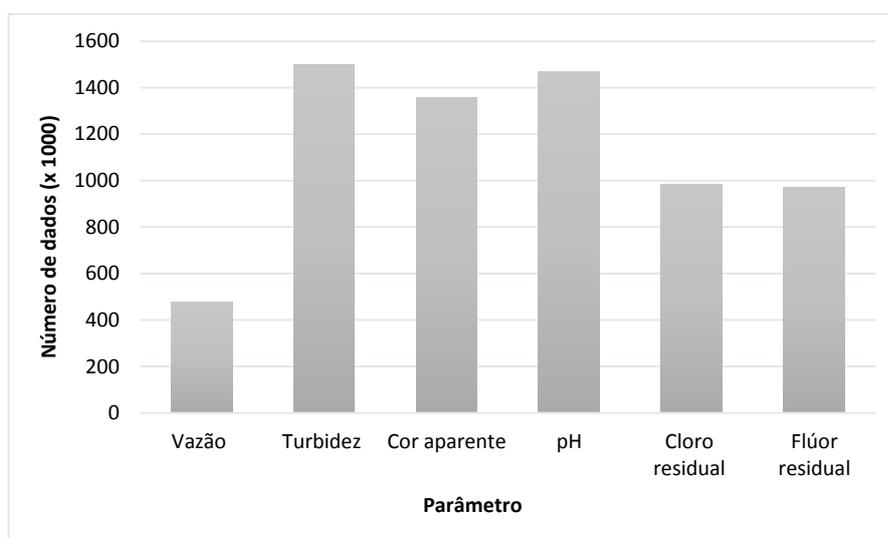
**Tabela 5.5 – Número de Estações de Tratamento de Água, por tipo de manancial**

Manancial	Lêntico	Lêntico/Lótico	Lótico	Total
Nº de ETA	11	3	31	45
Percentual (%)	24,4	6,7	68,9	100

O número de ETA contidas em cada tipo de tecnologia de tratamento, porte e manancial variou muito, conforme apresentado. Algumas tecnologias de tratamento foram representadas por apenas uma estação, caso do ciclo completo com flotação (CF), da dupla filtração (DF) e da oxidação com filtração (OF).

#### 5.4.2 Análise estatística preliminar dos dados

A Figura 5.2 apresenta o número total de dados de qualidade da água (bruta e tratada).

**Figura 5.2 – Número total de dados por parâmetro**

Na sequência são apresentados os números de dados por estação de tratamento e por parâmetro na Tabela 5.6, por tecnologia na Tabela 5.7, por porte na Tabela 5.8 e por tipo de manancial na Tabela 5.9.

**Tabela 5.6** – Número de dados disponibilizados por estação de tratamento e por parâmetro

Estação	Vazão	Turbidez	Cor	pH	Cloro residual	Flúor residual	Total de dados
ETA_01-P-CN-E	9.003	26.733	25.956	26.130	20.237	20.207	128.266
ETA_02-P-CN-O	8.657	30.824	23.779	27.936	17.868	17.781	126.845
ETA_03-P-CN-EO	9.171	28.122	21.524	27.662	21.495	19.825	127.799
ETA_04-P-CN-O	10.961	26.447	25.954	25.384	19.861	19.861	128.468
ETA_05-P-CN-O	16.106	27.083	25.034	31.725	22.419	22.401	144.768
ETA_06-P-CN-O	6.471	24.551	24.254	24.448	17.536	17.415	114.675
ETA_07-P-FD-E	11.051	40.898	36.874	40.881	20.416	20.321	170.441
ETA_08-P-FD-O	9.936	39.366	39.365	39.358	19.678	19.560	167.263
ETA_09-P-CN-O	11.996	26.601	20.732	26.435	20.966	20.634	127.364
ETA_10-P-CN-O	8.659	27.611	23.313	27.606	21.544	21.536	130.269
ETA_11-P-CN-O	7.400	35.212	35.348	35.247	18.100	18.075	149.382
ETA_12-P-CN-EO	5.460	29.606	29.659	29.285	23.506	23.516	141.032
ETA_13-P-CN-O	9.018	39.667	27.309	39.020	19.822	19.093	153.929
ETA_14-P-CN-O	9.499	25.647	25.617	25.343	20.808	18.114	125.028
ETA_15-P-CN-O	8.839	24.083	19.109	24.080	18.373	17.388	111.872
ETA_16-P-CN-EO	10.221	47.475	47.435	47.482	23.739	23.732	200.084
ETA_17-P-CN-O	9.436	24.544	24.555	24.737	20.444	20.388	124.104
ETA_18-P-FD-O	5.662	27.756	22.408	27.669	23.078	23.047	129.620
ETA_19-P-CN-E	10.912	44.068	23.549	42.940	21.533	21.496	164.498
ETA_20-P-CN-O	7.438	26.818	26.819	26.813	22.512	22.522	132.922
ETA_21-P-CN-O	9.256	36.823	36.821	36.257	19.015	16.769	154.941
ETA_22-P-FD-O	6.953	48.910	37.735	34.404	24.465	24.465	176.932
ETA_23-P-DF-E	8.508	40.197	34.185	40.134	23.958	23.919	170.901
ETA_24-P-CN-O	6.409	27.703	27.417	27.564	20.717	20.021	129.831
ETA_25-P-CN-O	5.824	39.650	39.129	40.064	20.051	19.835	164.553
ETA_26-M-CN-O	11.723	45.299	44.076	44.683	22.714	22.335	190.830
ETA_27-M-CN-O	11.006	28.855	22.605	28.806	23.353	23.332	137.957
ETA_28-M-CN-O	6.612	25.017	24.956	24.651	18.593	18.577	118.406
ETA_29-M-CN-O	12.128	30.022	26.693	29.955	23.558	23.494	145.850
ETA_30-M-CN-O	17.512	33.117	32.678	33.123	15.770	15.765	147.965
ETA_31-M-CN-O	12.032	43.939	39.861	43.923	21.743	21.686	183.184
ETA_32-M-CN-O	8.110	28.927	28.917	28.901	23.118	23.095	141.068
ETA_33-M-CN-O	11.238	36.842	36.795	36.789	22.285	22.284	166.233
ETA_34-M-CN-O	14.698	29.829	26.125	29.928	21.321	21.313	143.214
ETA_35-M-CN-O	12.744	33.221	29.160	33.178	21.855	21.860	152.018
ETA_36-M-CN-O	12.261	35.221	35.007	35.216	21.875	21.875	161.455
ETA_37-M-CN-E	18.587	32.317	31.888	31.357	23.764	23.767	161.680
ETA_38-M-CN-O	13.199	27.985	21.481	27.955	22.066	22.028	134.714
ETA_39-G-CN-E	16.986	31.321	31.152	29.822	23.758	23.707	156.746
ETA_40-G-CN-E	11.771	31.306	31.241	31.213	25.621	25.613	156.765
ETA_41-G-OF-E	4.742	18.917	19.931	19.917	15.273	15.235	94.015
ETA_42-G-CF-E	8.980	47.814	47.793	47.699	29.879	29.868	212.033
ETA_43-G-FD-E	15.570	47.919	33.149	40.913	25.296	25.294	188.141
ETA_44-G-CN-E	14.511	36.235	36.219	36.152	29.878	29.874	182.869
ETA_45-G-CN-O	19.683	38.174	35.552	36.242	29.878	29.349	188.878
	<b>476.939</b>	<b>1.498.672</b>	<b>1.359.159</b>	<b>1.469.027</b>	<b>983.739</b>	<b>972.272</b>	<b>6.759.808</b>

Com auxílio da Figura 5.2 e da Tabela 5.6, observa-se o elevado número de dados, o que aumenta bastante a confiabilidade das análises a serem efetuadas. Pode-se averiguar ainda o reduzido número de dados de vazão, em relação aos demais parâmetros pois a medição deste

parâmetro se dá praticamente duas vezes ao dia em todas as estações. Ressalta-se ainda a não distinção da água bruta e da água tratada para monitoramento da vazão. Em seguida, os parâmetros cloro e flúor residual, são os que apresentam menores quantidades de dados visto que são parâmetros avaliados apenas na água tratada enquanto os demais envolvem a água bruta e o efluente do tratamento.

**Tabela 5.7** – Número de dados disponibilizados por tecnologia de tratamento e por parâmetro

<b>Tecnologia</b>	<b>Vazão</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Cor</b>	<b>pH</b>	<b>Cloro residual</b>	<b>Flúor residual</b>	<b>Total de dados</b>
<b>CF</b>	8.980	47.814	47.793	47.699	29.879	29.868	212.033
<b>CN</b>	405.537	1.186.895	1.087.719	1.178.052	801.696	790.563	5.450.462
<b>FD</b>	49.172	204.849	169.531	183.225	112.933	112.687	832.397
<b>DF</b>	8.508	40.197	34.185	40.134	23.958	23.919	170.901
<b>OF</b>	4.742	18.917	19.931	19.917	15.273	15.235	94.015
	<b>476.939</b>	<b>1.498.672</b>	<b>1.359.159</b>	<b>1.469.027</b>	<b>983.739</b>	<b>972.272</b>	<b>6.759.808</b>

A partir da aferição da Tabela 5.7, percebe-se que em questão de tecnologia utilizada; a convencional é a que possui maior número de dados, por consequência de ser a mais utilizada no Brasil, conforme mencionado por Heller & Pádua (2006).

**Tabela 5.8** – Número de dados disponibilizados por porte e por parâmetro

<b>Porte</b>	<b>Vazão</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Cor</b>	<b>pH</b>	<b>Cloro residual</b>	<b>Flúor residual</b>	<b>Total de dados</b>
<b>P</b>	222.846	816.395	723.880	798.604	522.141	511.921	3.595.787
<b>M</b>	161.850	430.591	400.242	428.465	282.015	281.411	1.984.574
<b>G</b>	92.243	251.686	235.037	241.958	179.583	178.940	1.179.447
	<b>476.939</b>	<b>1.498.672</b>	<b>1.359.159</b>	<b>1.469.027</b>	<b>983.739</b>	<b>972.272</b>	<b>6.759.808</b>

Com relação ao porte das estações (Tabela 5.8), a grande maioria dos dados está nas estações caracterizadas como pequeno porte. Porém, verificando percentualmente a quantidade de dados por estação, verifica-se que as ETA de grande porte possuem maior número de dados, o que pode ser justificado pela maior automatização das grandes estações.

**Tabela 5.9** – Número de dados disponibilizados por tipo de manancial e por parâmetro

<b>Manancial</b>	<b>Vazão</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Cor</b>	<b>pH</b>	<b>Cloro residual</b>	<b>Flúor residual</b>	<b>Total de dados</b>
<b>Lêntico</b>	130.621	397.725	351.937	387.158	259.613	259.301	1.786.355
<b>Lênt./Lót.</b>	15.681	77.081	77.094	76.767	47.245	47.248	341.116
<b>Lótico</b>	330.637	1.023.866	930.128	1.005.102	676.881	665.723	4.632.337
	<b>476.939</b>	<b>1.498.672</b>	<b>1.359.159</b>	<b>1.469.027</b>	<b>983.739</b>	<b>972.272</b>	<b>6.759.808</b>

Acerca do tipo de manancial (Tabela 5.9), verifica-se que a grande maioria dos dados se concentra em ambientes lóticos, ou seja, provavelmente com captações diretas nos próprios rios, não havendo o processo de decantação natural que pode ser observado nos ambientes lênticos.

#### 5.4.2.1 Identificação de outliers

A Tabela 5.10 apresenta o número *outliers* superiores encontrados por parâmetro e por ETA para a água bruta e tratada. A maioria dos *outliers* encontrados foi mantida, uma vez que variações ambientais como mudanças climáticas, atividades humanas e acontecimentos históricos podem gerar valores discrepantes do conjunto de dados. Desta forma, a ocorrência de *outliers* em matrizes de dados ambientais pode ser perfeitamente aceitável e contribuir com muitas informações.

Observa-se a partir da Tabela 5.10, no geral, um baixo percentual de *outliers* para os parâmetros analisados. Os percentuais mais elevados, cerca de 11%, foram registrados para os parâmetros cor aparente e turbidez da água bruta, o que pode estar associado à forte influência da sazonalidade na qualidade da água captada.

Optou-se por excluir os *outliers* que apresentaram valores acima do limite de detecção do método para os parâmetros turbidez e cor aparente da água bruta (4000 uT e 4000 uH, respectivamente) de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). Tais valores foram excluídos e não substituídos pelo fato de não se ter informações precisas sobre os equipamentos utilizados em cada estação de tratamento de água. Para os demais parâmetros (pH da água bruta, turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada) os *outliers* foram analisados individualmente optando por excluir apenas valores impossíveis de ocorrência (valores negativos, erros de digitação, dentre outros). A Tabela 5.11 apresenta o número de *outliers* superiores excluídos do banco de dados.

**Tabela 5.10** – Número de *outliers* superiores identificados por estações de tratamento de água para os parâmetros turbidez, cor aparente, pH e residuais de cloro e flúor das águas bruta e tratada

Estação	Turbidez		Cor		pH		Cloro	Flúor	Total
	AB <sup>1</sup>	AT <sup>2</sup>	AB	AT	AB	AT	AT	AT	
ETA_01-P-CN-E	867	475	366	66	332	19	4803	431	7359
ETA_02-P-CN-O	944	371	278	0	73	731	3109	363	5869
ETA_03-P-CN-EO	845	1125	644	3048	203	263	2428	193	8749
ETA_04-P-CN-O	855	550	1012	61	169	1133	522	437	4739
ETA_05-P-CN-O	683	149	858	47	1274	128	2078	182	5399
ETA_06-P-CN-O	926	87	720	42	583	694	143	293	3488
ETA_07-P-FD-E	1530	123	2517	0	975	507	3551	0	9203
ETA_08-P-FD-O	1746	659	2255	69	1564	1816	254	96	8459
ETA_09-P-CN-O	815	3236	675	1453	16	604	966	363	8128
ETA_10-P-CN-O	586	1323	505	251	103	126	50	56	3000
ETA_11-P-CN-O	2453	857	1573	2	164	323	108	121	5601
ETA_12-P-CN-EO	227	1932	219	278	102	26	296	85	3165
ETA_13-P-CN-O	2903	866	1489	134	467	288	2463	95	8705
ETA_14-P-CN-O	705	571	523	0	70	165	4110	33	6177
ETA_15-P-CN-O	837	617	625	7	15	762	8	269	3140
ETA_16-P-CN-EO	3605	1505	2955	1644	3320	8197	4273	481	25980
ETA_17-P-CN-O	437	1074	376	641	274	46	2354	23	5225
ETA_18-P-FD-O	692	2020	685	330	636	476	1612	687	7138
ETA_19-P-CN-E	2102	1036	392	1642	507	1617	655	310	8261
ETA_20-P-CN-O	452	630	585	0	139	169	9293	115	11383
ETA_21-P-CN-O	2059	57	3071	7	61	81	1603	2	6941
ETA_22-P-FD-O	2593	16	1645	11	245	238	3587	12	8347
ETA_23-P-DF-E	1044	949	4836	17	752	491	563	698	9350
ETA_24-P-CN-O	1165	303	615	1	140	9	52	32	2317
ETA_25-P-CN-O	2547	834	2613	4	173	691	4771	226	11859
ETA_26-M-CN-O	3261	937	3185	1146	589	296	54	1112	10580
ETA_27-M-CN-O	771	1118	764	1978	7	6	57	7	4708
ETA_28-M-CN-O	926	55	982	5	64	270	26	621	2949
ETA_29-M-CN-O	905	918	917	129	223	1608	168	53	4921
ETA_30-M-CN-O	2146	416	2172	0	88	757	2292	194	8065
ETA_31-M-CN-O	2293	1205	1512	973	56	271	113	184	6607
ETA_32-M-CN-O	500	1375	590	120	45	2284	92	184	5190
ETA_33-M-CN-O	850	1455	32	86	25	27	3	410	2888
ETA_34-M-CN-O	759	450	788	2107	103	1418	1681	29	7335
ETA_35-M-CN-O	841	734	708	3553	134	5	107	77	6159
ETA_36-M-CN-O	1299	24	1208	15	18	426	6068	31	9089
ETA_37-M-CN-E	1327	372	1161	0	170	330	268	152	3780
ETA_38-M-CN-O	985	821	977	276	249	322	205	64	3899
ETA_39-G-CN-E	1112	459	1251	3	1092	44	37	85	4083
ETA_40-G-CN-E	956	3290	961	8115	9	1528	0	1486	16345
ETA_41-G-OF-E	189	142	129	2771	265	403	194	314	4407
ETA_42-G-CF-E	1322	1384	536	594	269	1088	124	643	5960
ETA_43-G-FD-E	2279	3552	596	123	780	1191	861	74	9456
ETA_44-G-CN-E	664	2396	671	64	92	0	2229	1565	7681
ETA_45-G-CN-O	859	1177	836	6	323	596	211	144	4152
<b>TOTAL</b>	<b>57862</b>	<b>43645</b>	<b>52008</b>	<b>31819</b>	<b>16958</b>	<b>32470</b>	<b>68442</b>	<b>13032</b>	<b>316236</b>
<b>PERCENTUAL (%)</b>	<b>11,21</b>	<b>4,44</b>	<b>11,58</b>	<b>3,49</b>	<b>3,48</b>	<b>3,30</b>	<b>6,96</b>	<b>1,34</b>	<b>5,03</b>

<sup>1</sup>AB – água bruta    <sup>2</sup>AT – água tratada

**Tabela 5.11** – Número de *outliers* superiores excluídos do banco de dados para todos os parâmetros da água bruta e tratada

Estação	Turbidez		Cor		pH		Cloro	Flúor	Total
	AB <sup>1</sup>	AT <sup>2</sup>	AB	AT	AB	AT	AT	AT	
ETA_01-P-CN-E	0	0	2	0	0	5	4	5	16
ETA_02-P-CN-O	0	0	0	0	1	0	1	4	6
ETA_03-P-CN-EO	1	0	6	0	1	16	21	13	58
ETA_04-P-CN-O	0	0	23	0	0	0	0	0	23
ETA_05-P-CN-O	0	0	8	0	2	10	6	5	31
ETA_06-P-CN-O	0	0	0	0	8	20	6	17	51
ETA_07-P-FD-E	0	0	0	0	0	0	15	0	15
ETA_08-P-FD-O	0	2	0	0	0	0	9	0	11
ETA_09-P-CN-O	4	0	45	0	0	6	9	46	110
ETA_10-P-CN-O	0	0	2	8	0	2	9	2	23
ETA_11-P-CN-O	0	0	2	0	2	2	4	10	20
ETA_12-P-CN-EO	0	0	1	0	1	5	14	7	28
ETA_13-P-CN-O	1	0	5	1	4	6	8	16	41
ETA_14-P-CN-O	8	0	39	0	0	2	0	0	49
ETA_15-P-CN-O	0	0	66	0	0	1	5	11	83
ETA_16-P-CN-EO	13	0	41	0	1	3	4	6	68
ETA_17-P-CN-O	0	0	0	0	0	1	0	14	15
ETA_18-P-FD-O	0	3	3	0	9	22	7	25	69
ETA_19-P-CN-E	0	0	0	2	8	86	9	13	118
ETA_20-P-CN-O	0	0	3	0	0	0	13	3	19
ETA_21-P-CN-O	0	0	0	0	0	1	6	5	12
ETA_22-P-FD-O	0	0	52	0	1	1	7	7	68
ETA_23-P-DF-E	0	0	0	0	3	0	0	0	3
ETA_24-P-CN-O	0	0	4	0	5	3	5	0	17
ETA_25-P-CN-O	0	0	4	0	4	0	2	2	12
ETA_26-M-CN-O	0	19	97	2	6	61	32	36	253
ETA_27-M-CN-O	0	18	17	0	0	5	8	7	55
ETA_28-M-CN-O	1	0	8	2	32	22	9	4	78
ETA_29-M-CN-O	0	0	14	0	2	0	1	0	17
ETA_30-M-CN-O	6	0	437	0	0	0	0	0	443
ETA_31-M-CN-O	0	0	18	20	0	24	9	6	77
ETA_32-M-CN-O	0	3	1	1	0	4	4	6	19
ETA_33-M-CN-O	0	0	0	8	2	0	0	0	10
ETA_34-M-CN-O	0	0	1	0	0	0	0	0	1
ETA_35-M-CN-O	0	0	8	0	3	23	5	0	39
ETA_36-M-CN-O	0	0	2	0	0	3	0	0	5
ETA_37-M-CN-E	0	0	3	0	2	3	3	0	11
ETA_38-M-CN-O	2	0	7	0	0	1	0	0	10
ETA_39-G-CN-E	7	0	16	0	1	3	0	0	27
ETA_40-G-CN-E	0	0	5	11	0	0	0	0	16
ETA_41-G-OF-E	1	0	1	0	1	1	0	1	5
ETA_42-G-CF-E	0	0	0	5	3	0	0	0	8
ETA_43-G-FD-E	0	1	0	0	0	0	0	0	1
ETA_44-G-CN-E	1	0	1	0	1	0	0	0	3
ETA_45-G-CN-O	20	1	19	0	0	499	5	0	544
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>	<b>47</b>	<b>961</b>	<b>60</b>	<b>103</b>	<b>841</b>	<b>240</b>	<b>271</b>	<b>2.588</b>

<sup>1</sup>AB – água bruta    <sup>2</sup>AT – água tratada

A partir da análise dos *outliers* identificados como valores improváveis de serem quantificados, foi eliminado um total de 2.588 dados. A Tabela 5.12 apresenta a classificação dos *outliers* eliminados por porte. É possível observar que as ETA de grande porte apresentaram um menor percentual de dados improváveis de ocorrência, conforme esperado, uma vez que ETA de grande porte tendem a ser automatizadas. Além disso, o percentual de *outliers* eliminados referentes aos parâmetros cloro e flúor das ETA de pequeno porte foram elevados, 68,33% e 77,86%, respectivamente. Tal situação pode ser explicada pelo fato dessas estações no geral não serem automatizadas e terem uma operação menos qualificada, o que pode tornar a dosagem dos produtos menos precisa.

**Tabela 5.12** – Percentual de dados excluídos do total de *outliers* identificados, considerando o porte das estações

Porte	Turbidez		Cor		pH		Cloro	Flúor	Total
	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT	
<b>Pequeno</b>	41,54	10,64	31,84	18,33	48,54	22,83	68,33	77,86	37,33
<b>Médio</b>	13,85	85,11	63,79	55,00	45,63	17,36	29,58	21,77	39,34
<b>Grande</b>	44,62	4,26	4,37	26,67	5,83	59,81	2,08	0,37	23,34

#### 5.4.2.2 Verificação da normalidade dos dados

A normalidade dos dados foi verificada para determinação dos testes estatísticos a serem empregados, paramétricos ou não paramétricos. O teste de normalidade de *Shapiro Wilk*, ao nível de significância de 5%, e o teste gráfico *Normal Probability Plot*, indicaram que com exceção do parâmetro cor aparente da água tratada de quatro estações (ETA\_02-P-CN-O, ETA\_14-P-CN-O, ETA\_20-P-CN-O e ETA\_30-M-CN-O), todos os demais dados não seguem a distribuição normal (valor-p < 0,05), fornecendo o indicativo para a aplicação dos testes não paramétricos em análises posteriores. Esses resultados corroboram os estudos efetuados anteriormente por Melo (2014).

A título de exemplificação, a Tabela 5.13 e o Apêndice 1 apresentam os resultados do teste de *Shapiro Wilk* e do teste gráfico *Normal Probability Plot*, respectivamente, para os parâmetros da água bruta e tratada da ETA\_5-P-CN-O.

**Tabela 5.13** – Resultados do teste de *Shapiro-Wilk* para os parâmetros da água bruta e tratada da ETA\_05-P-CN-O

Parâmetro	Vazão	Turbidez		Cor		pH		Cloro	Flúor
		AB <sup>1</sup>	AT <sup>2</sup>	AB	AT	AB	AT		
<b>Estat. Shapiro Wilk<sup>3</sup></b>	0,953	0,325	0,483	0,334	0,013	0,544	0,933	0,855	0,945
<b>Valor-p</b>	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

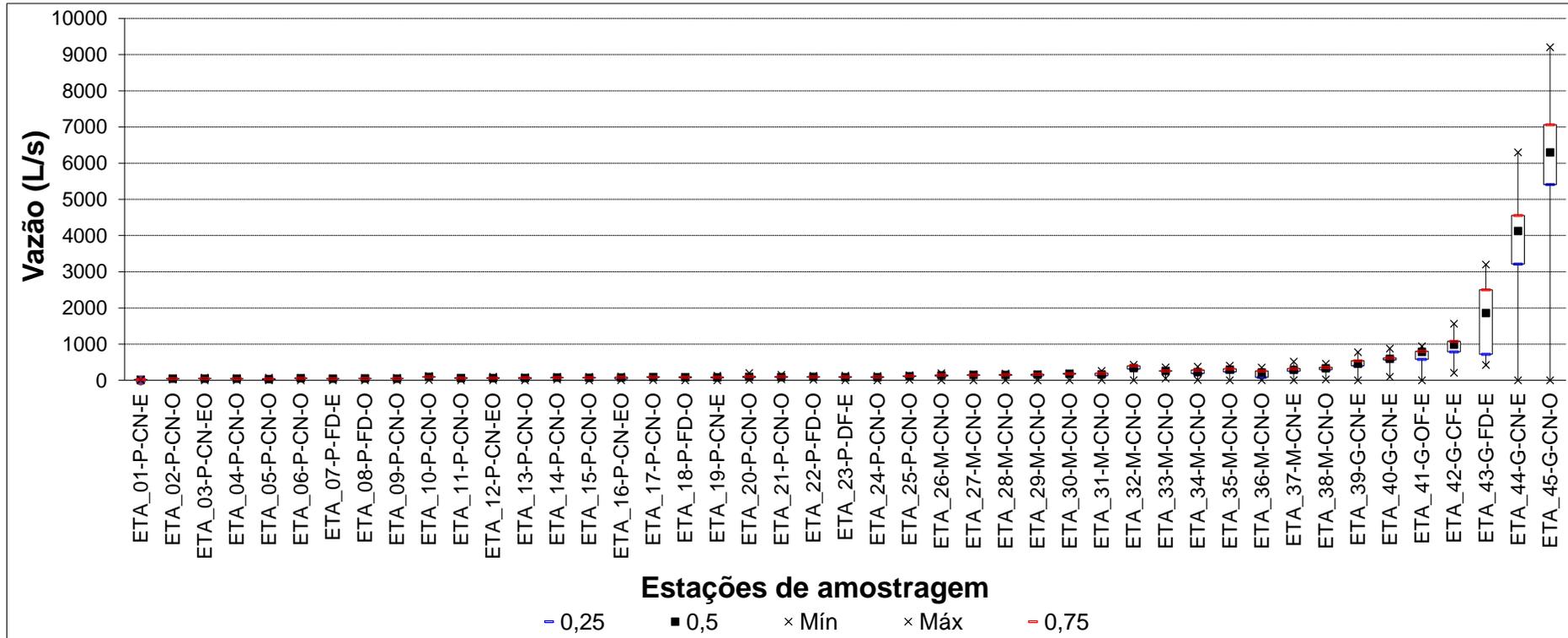
<sup>1</sup>AB – água bruta    <sup>2</sup>AT – água tratada    <sup>3</sup> Estat. *Shapiro Wilk* – Estatística do teste de *Shapiro Wilk*

### 5.4.3 Estatística descritiva dos valores medidos na água bruta e tratada

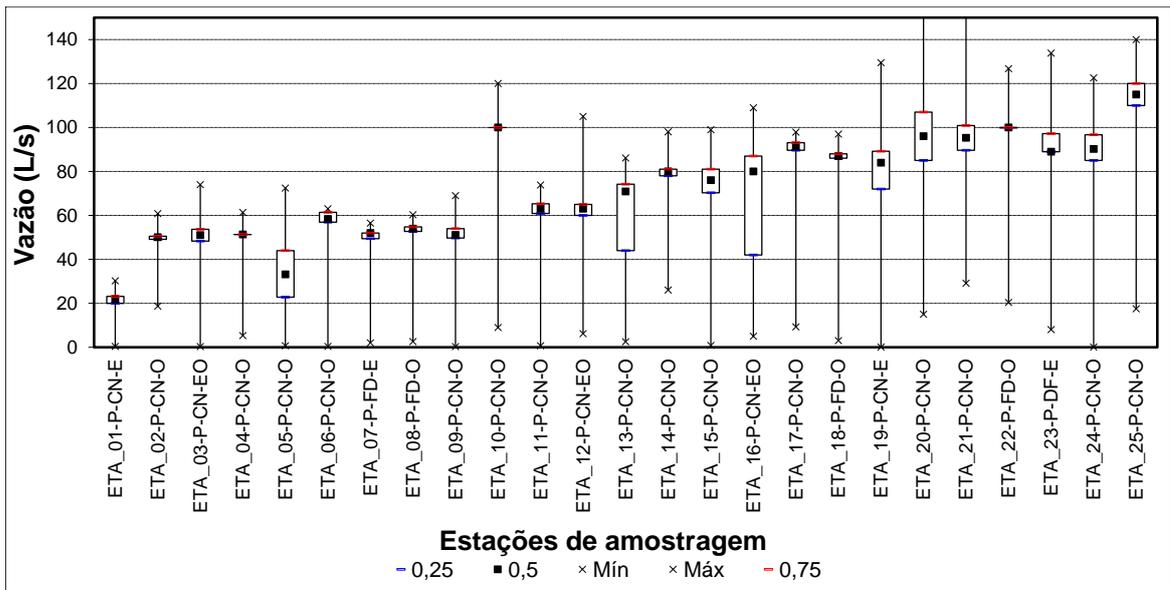
A estatística descritiva completa é apresentada em tabelas no Apêndice 2. Nesse tópico foram calculados o número de dados disponíveis, a média, a mediana, o mínimo, o máximo, os percentis 10, 25, 75, 90 e 95%, o coeficiente de assimetria, o desvio-padrão e o coeficiente de variação.

Na sequência são apresentadas as figuras referentes aos gráficos *box-whisker* para cada um dos parâmetros analisados: vazão (Figura 5.3, Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6); turbidez ( Figura 5.7 e Figura 5.8 ), cor aparente (Figura 5.9 e Figura 5.10) e pH (Figura 5.11 e Figura 5.12), cloro (Figura 5.13) e flúor residual (Figura 5.14), considerando tanto a água bruta como a água tratada. Ressalta-se que para a vazão também foram apresentados *box-whisker* por porte devido à grande faixa de distribuição dos valores e consequente dificuldade de visualização.

Figura 5.3 – Gráfico Box-wisker para o parâmetro Vazão

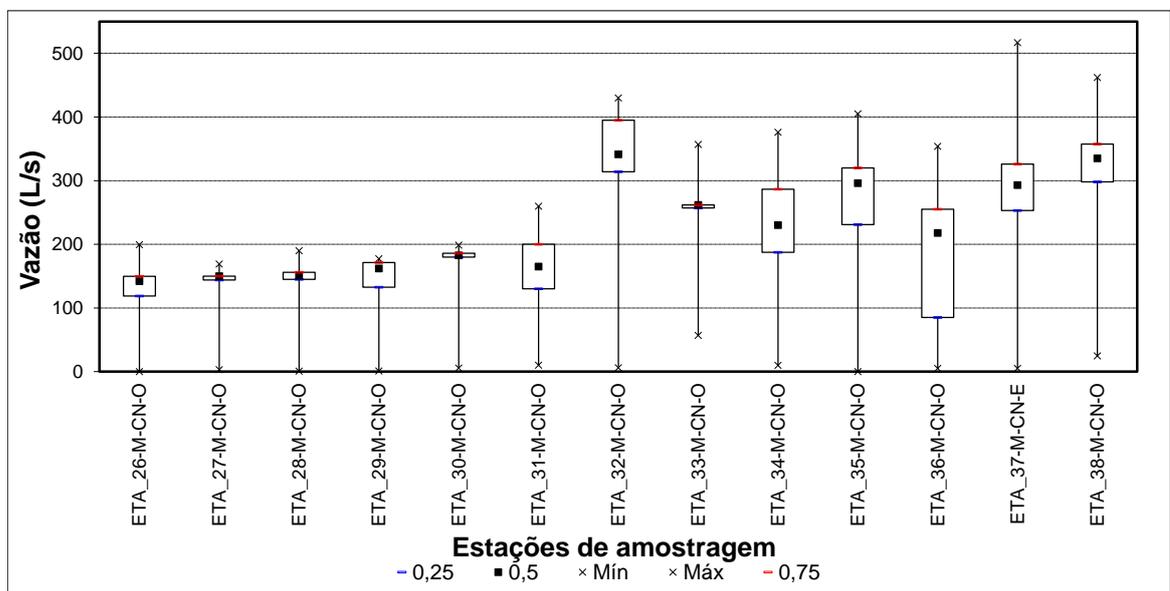


**Figura 5.4 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro vazão – ETA Pequeno porte**



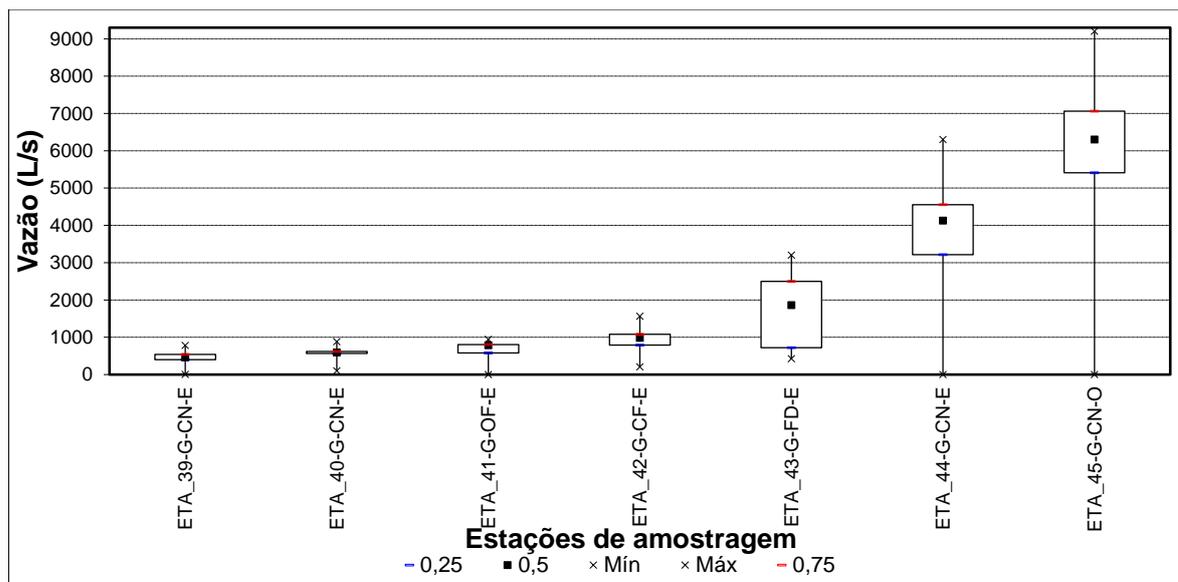
A vazão tratada nas estações varia em função de alguns parâmetros e se difere da projetada. A variação interquartil para estações de pequeno porte (Figura 5.4) não é muito relevante entre as mesmas (inferior a 20% em 21 das 24 estações de tratamento), o que garante uma maior estabilidade ao tratamento porque as unidades do tratamento apresentam maior eficiência quando operam na vazão de projeto.

**Figura 5.5 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro vazão – ETA Médio porte**



Para as estações de médio porte (Figura 5.5), a variação da vazão é mais expressiva, sendo que em sete das treze ETA estudadas a distância interquartil é superior a 20%. Quando se comparam os valores extremos com a mediana, percebe-se que os mínimos chegam próximos à zero, principalmente em períodos secos e atingem valores máximos em três das treze estações.

**Figura 5.6** – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro vazão – ETA Grande porte



Pela Figura 5.6, visualiza-se que a variação de vazão é maior, com diferença interquartis superior a 20% em quatro das setes estações de grande porte e limite superior acima de 50% entre a mediana e o limite inferior.

Acerca do parâmetro turbidez na água bruta (Figura 5.7) quatro estações se destacaram devido à grande amplitude interquartil, sendo duas de pequeno porte (ETA\_09-P-CN-O e ETA\_14-P-CN-O), uma de médio (ETA\_32-M-CN-O) e uma de grande (ETA\_45-G-CN-O), ressalta-se, ainda acerca do ambiente, que todas as captações são realizadas em mananciais lóticos, conforme esperado. Dentre essas, as ETA 32 e 45 registraram os maiores valores de turbidez. A ETA 32 apresentou turbidez da água bruta máxima de 3885 uT e cinco registros superiores a 2500 uT. Já a ETA 45 apresentou turbidez da água bruta máxima de 4000 uT, com três valores acima de 3500 uT.

As estações ETA\_19-P-CN-E, ETA\_37-M-CN-E, ETA\_41-G-OF-E e ETA\_42-G-CF-E registraram os menores valores para turbidez da água bruta. Tais ETA fazem a captação da água em ambiente lântico que tende a apresentar águas menos turvas. Cerca de 25% dos dados de turbidez da água bruta dessas estações ficaram abaixo de 2,0 uT. Cabe destacar que dentre as 45 estações, 20 apresentaram cerca de 50% dos dados de turbidez da água bruta inferior a 10 uT, enquanto 11 ETA apresentaram cerca de 50% dos dados de turbidez da água bruta inferior a 5 uT e apenas para 3 ETA, sendo duas de grande porte, a turbidez da água bruta foi inferior a 5 uT para 75% dos dados analisados.

Figura 5.7 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro Turbidez – Água bruta

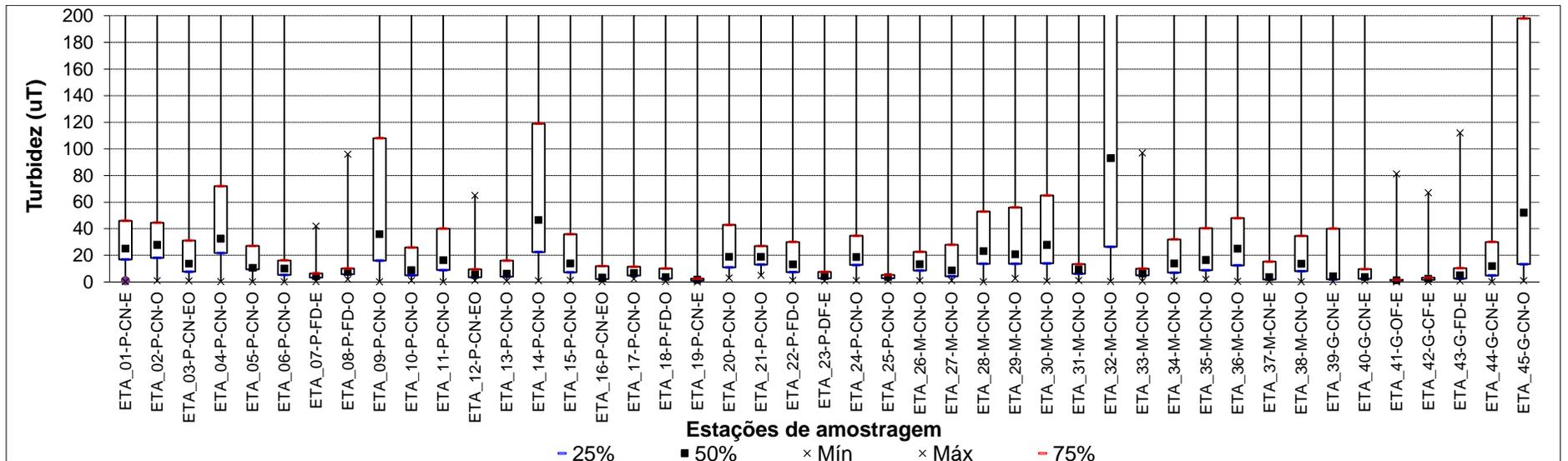
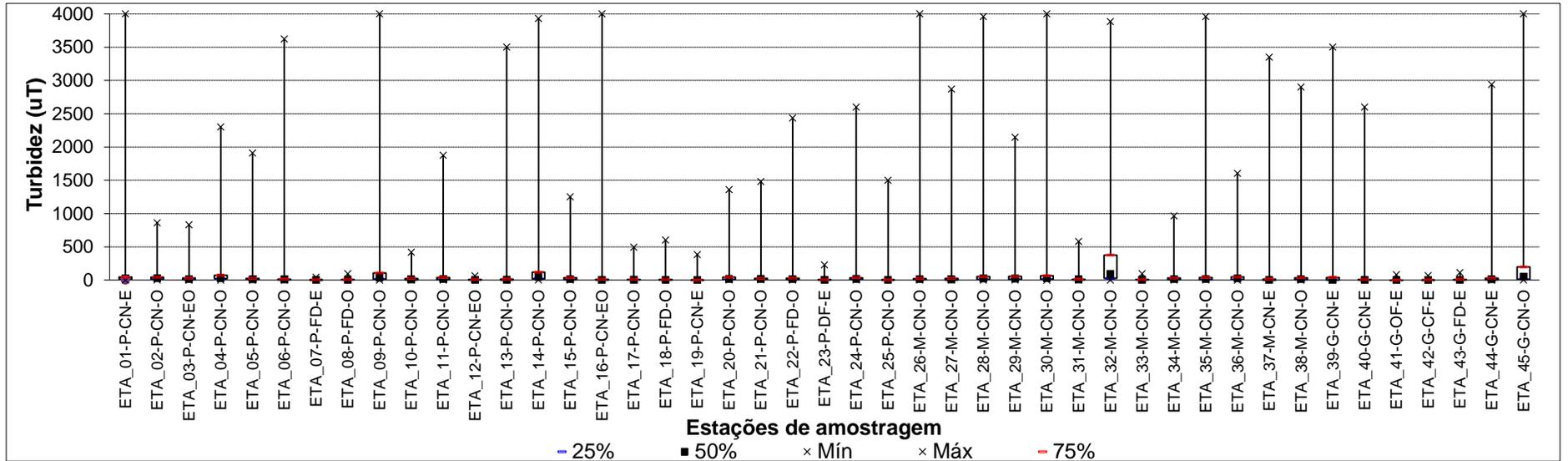
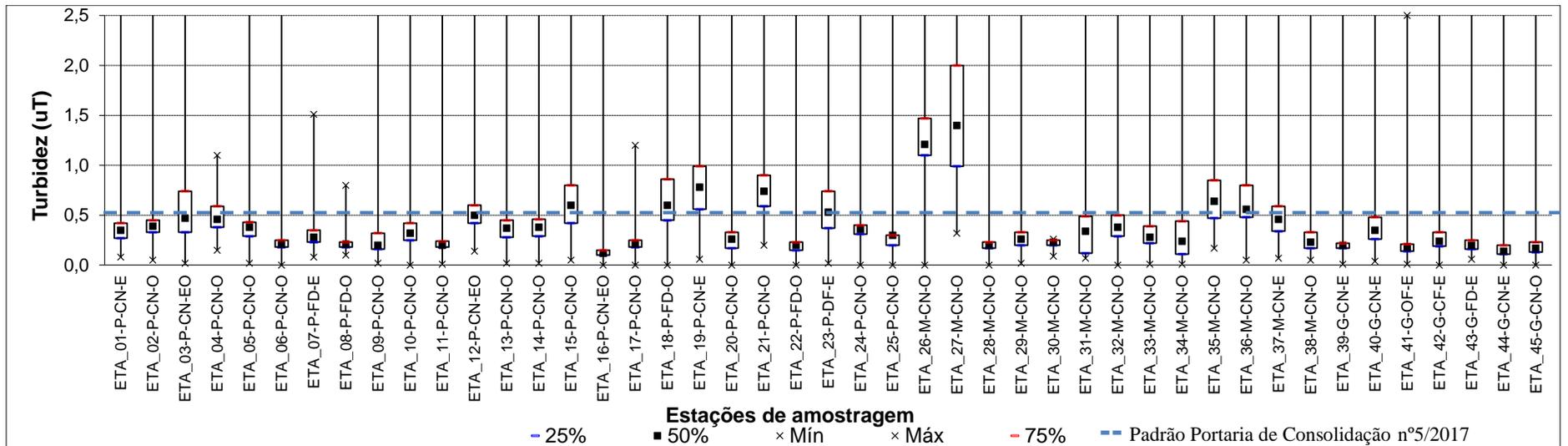
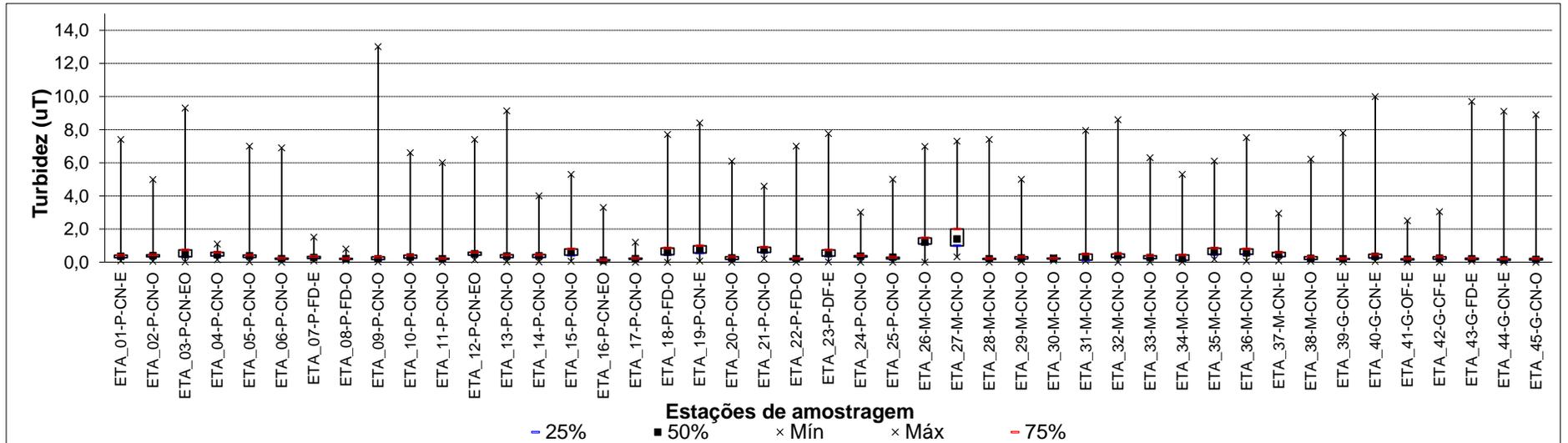


Figura 5.8 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro Turbidez – Água tratada



Em relação a turbidez da água tratada é possível observar na Figura 5.8 que as ETA\_26-M-CN-O e ETA\_27-M-CN-O, ambas de médio porte, apresentaram as maiores amplitudes interquartis, com cerca de 75% dos dados inferiores a 2,0 uT e superiores a 1,0 uT (limite máximo estabelecido na Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde). No entanto, a estação que registrou o maior valor para este parâmetro foi a ETA\_09-P-CN-O, com valor máximo de 13 uT. Já a ETA\_30-M-CN-O foi a estação que apresentou a menor amplitude dos dados, com valor mínimo de 0,09 uT e máximo de 0,26 uT para turbidez da água tratada.

Considerando os padrões de potabilidade de turbidez (0,1; 0,3 e 0,5 uT) é possível notar que apenas a ETA\_16-P-CN-EO atende o padrão mais restritivo de 0,1 uT para cerca de somente 25% dos dados. Em relação ao padrão de 0,3 uT, 15 estações apresentaram percentil 25 superior a este limite e 23 estações apresentaram mediana superior a este limite. Por fim, quatro ETA apresentaram percentil 25 maior que 0,5 uT e sete ETA apresentaram mediana maior do que este limite, incluindo as estações 26 e 27.

Em relação à cor aparente da água bruta (Figura 5.9) três ETA de pequeno porte (ETA\_9-P-CN-O, ETA\_14-P-CN-O, ETA\_15-PCN-O) e duas de médio porte (ETA\_30-M-CN-O e ETA\_32-M-CN-O), todas elas também de ambientes lóticos, apresentaram elevada amplitude interquartil, sendo que as outras 40 restantes apresentaram cerca de 75% dos dados menor que 250 uH. Ressalta-se que as ETA\_9-P-CN-O, ETA\_14-P-CN-O e ETA\_32-M-CN-O também apresentaram os maiores valores para turbidez da água bruta. Além disso, das 45 estações, 20 registraram valor máximo de 4000 uH para cor aparente da água bruta.

Em contrapartida as estações ETA\_23-P-DF-E e ETA\_41-G-OF-E apresentaram amplitude interquartil igual a 0 (zero), ambas com percentis 25 e 75 iguais a 2,5 uH, corroborando os baixos valores de cor aparente na água bruta necessários para o emprego das tecnologias de dupla filtração e oxidação seguida de filtração. Cabe ressaltar que, das 45 estações, 12 ETA apresentaram percentil 25 inferior a 15 uH e seis ETA apresentaram mediana inferior a 15 uH para a cor aparente da água bruta, atendendo o padrão de potabilidade brasileiro antes de passar pelo tratamento. Na Figura 5.10, observa-se que com exceção da ETA\_05-P-CN-O, as outras 44 estações possuem todos os valores de cor aparente da água tratada abaixo do limite (15 uH) estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, pela USEPA e pelas diretrizes da OMS, que são os balizadores deste estudo.

Figura 5.9 – Gráficos *Box-whisker* para o parâmetro Cor aparente – Água bruta

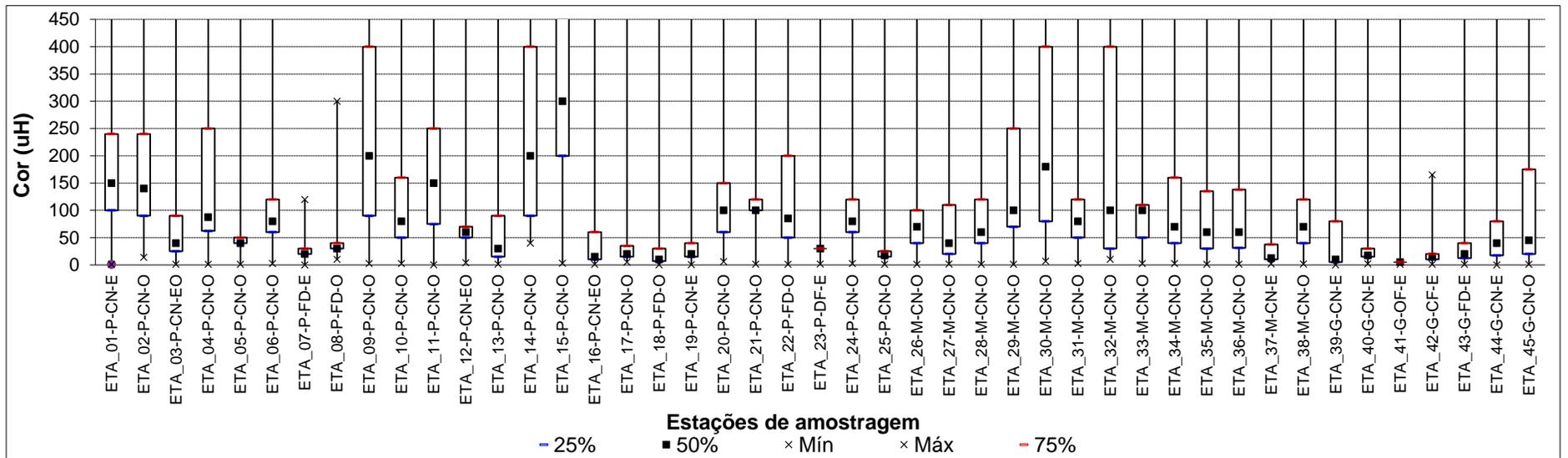
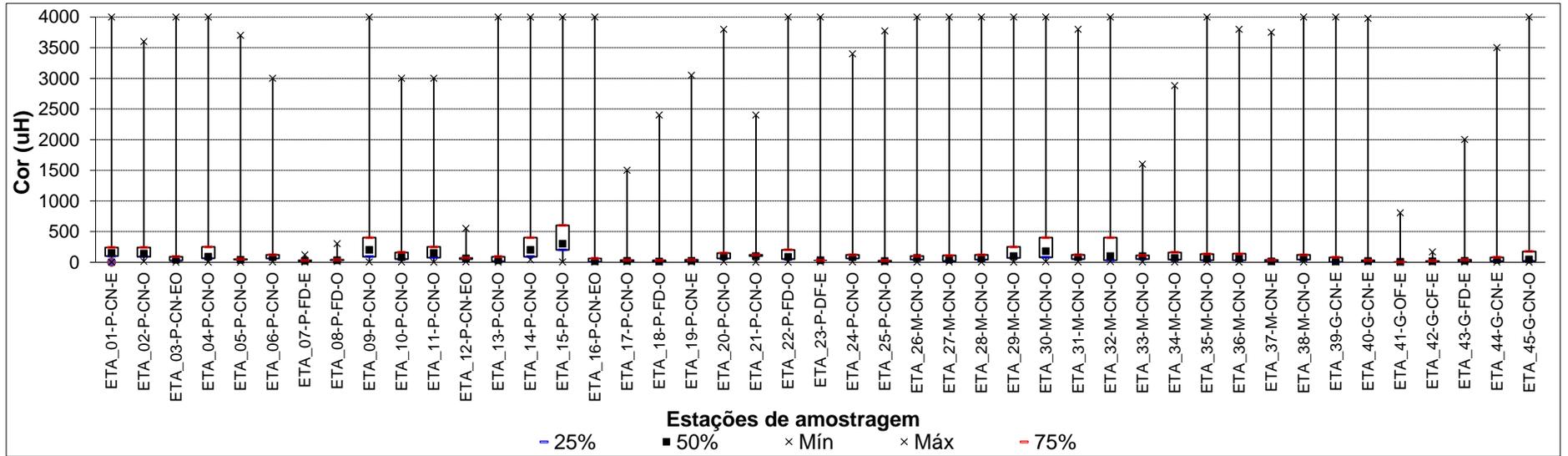
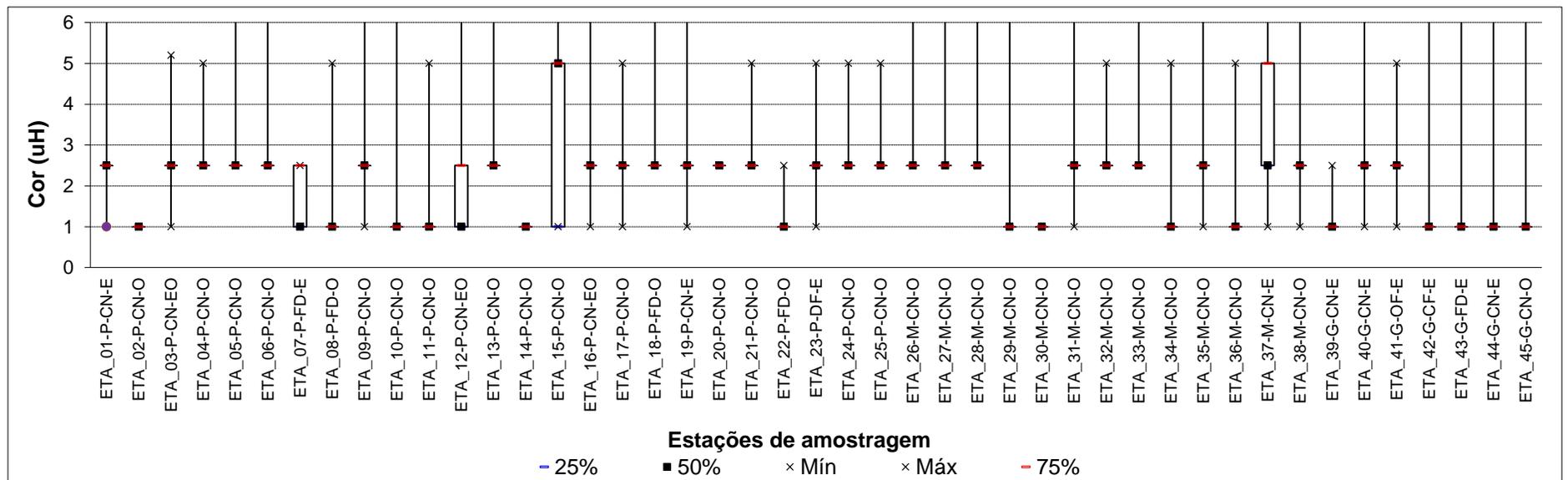
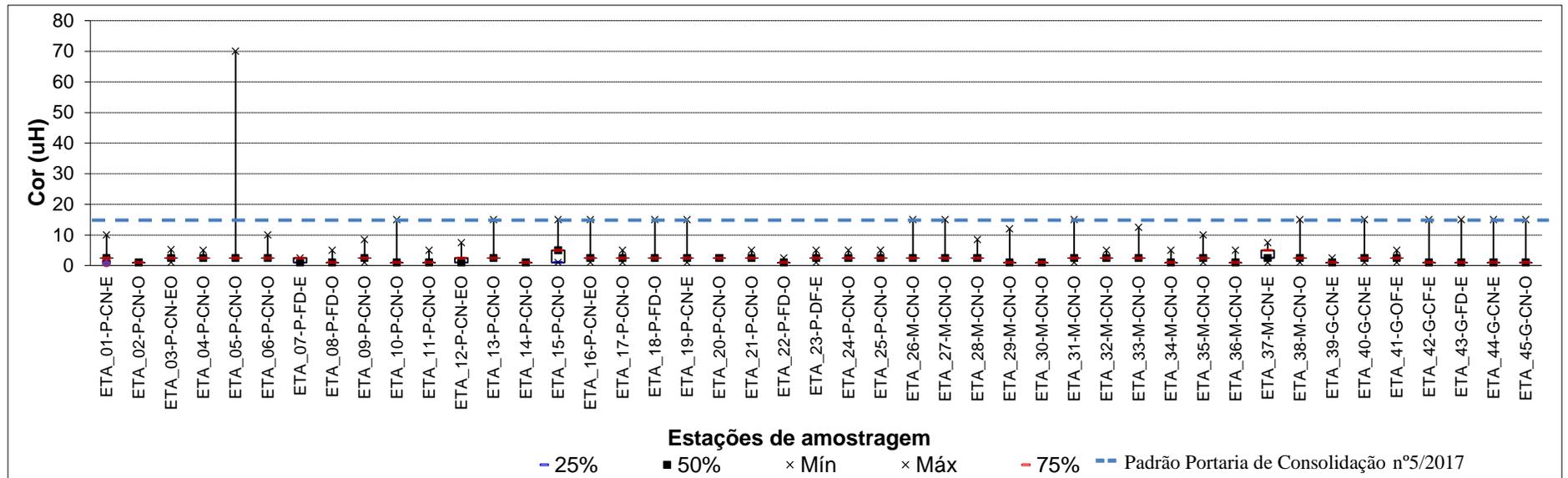


Figura 5.10 – Gráficos *Box-whisker* para o parâmetro Cor aparente – Água tratada



É importante ressaltar que a ETA\_5-P-CN-O para a água tratada registrou o valor máximo de 70 uH mais de uma vez no período compreendido entre maio de 2014 e junho de 2014, o que pode indicar uma falha no tratamento. Além disso, apenas as ETA\_7-P-FD-E, ETA\_12-P-CN-EO, ETA\_15-P-CN-O e ETA\_37-M-CN-E apresentaram amplitude interquartil diferente de 0 (zero).

O parâmetro pH da água bruta apresentou baixas amplitudes interquartis, com valores de pH entre 6 e 8 (Figura 5.11). A ETA\_18-P-FD-O registrou o menor valor (pH = 2); a água tratada também apresentou, no geral, valores de pH entre 6 e 8 (Figura 5.12), em acordo com a portaria de potabilidade brasileira. Apenas a ETA\_44-G-CN-E apresentou valor máximo de pH para a água tratada acima de 10.

De acordo com a Figura 5.13, a concentração máxima de cloro foi de 3,5 mg/L nas estações ETA\_15-P-CN-O e ETA\_40-G-CN-E. Destaca-se que 16 estações apresentaram valores nulos para concentração de cloro. Além disso, nove ETA registraram amplitude interquartil nula e a ETA 15 registrou a maior variação dos dados. Cabe ressaltar que cinco ETA de pequeno porte, seis de médio porte e cinco de grande porte apresentaram concentrações de cloro acima de 2,0 mg/L, com destaque para a ETA\_40-G-CN-E que apresentou mais de 50% dos dados acima deste limite.

Para o parâmetro flúor residual (Figura 5.14), 17 estações apresentaram concentrações nulas. A concentração máxima registrada para este parâmetro foi de 2,0 mg/L na ETA\_26-M-CN-O e 2,81 mg/L na ETA\_41-G-OF-E, concentração acima do limite 1,5 mg/L definido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde. Além disso, a ETA\_36-M-CN-O registrou amplitude interquartil nula e a ETA\_19-P-CN-E registrou a maior variação dos dados.

Figura 5.11 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro pH – Água bruta

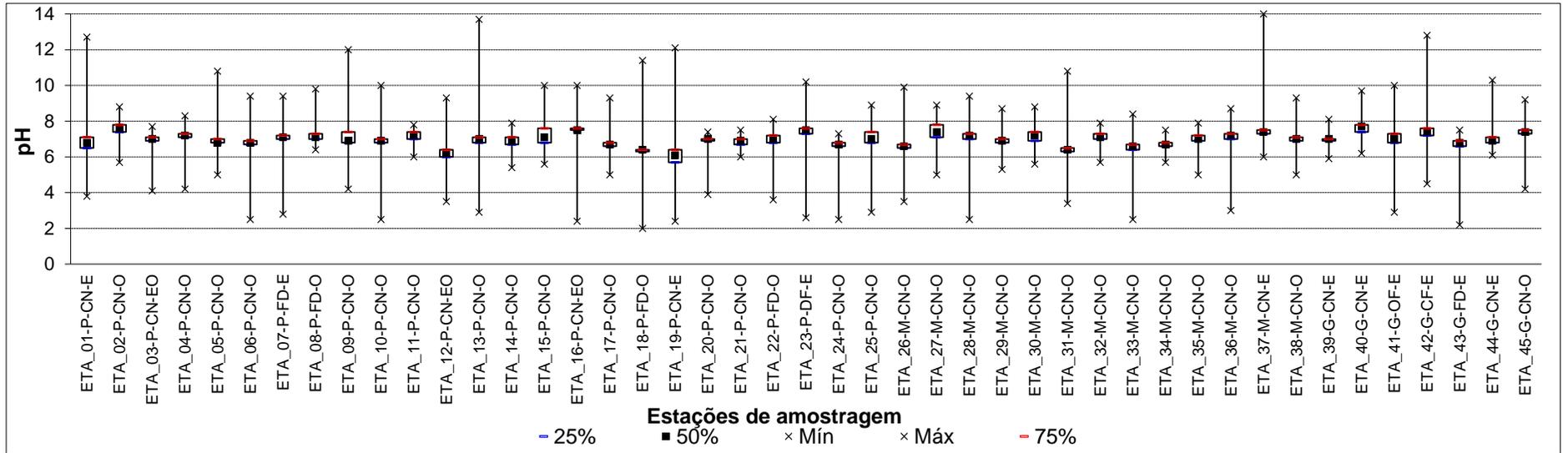


Figura 5.12 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro pH – Água tratada

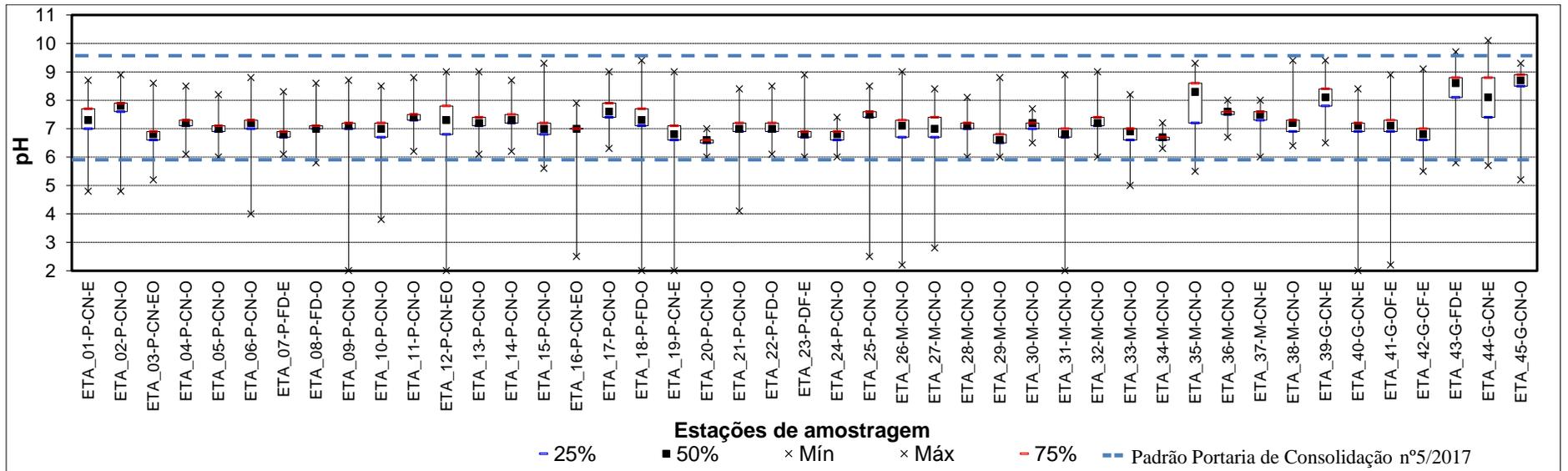


Figura 5.13 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro Cloro residual – Água tratada

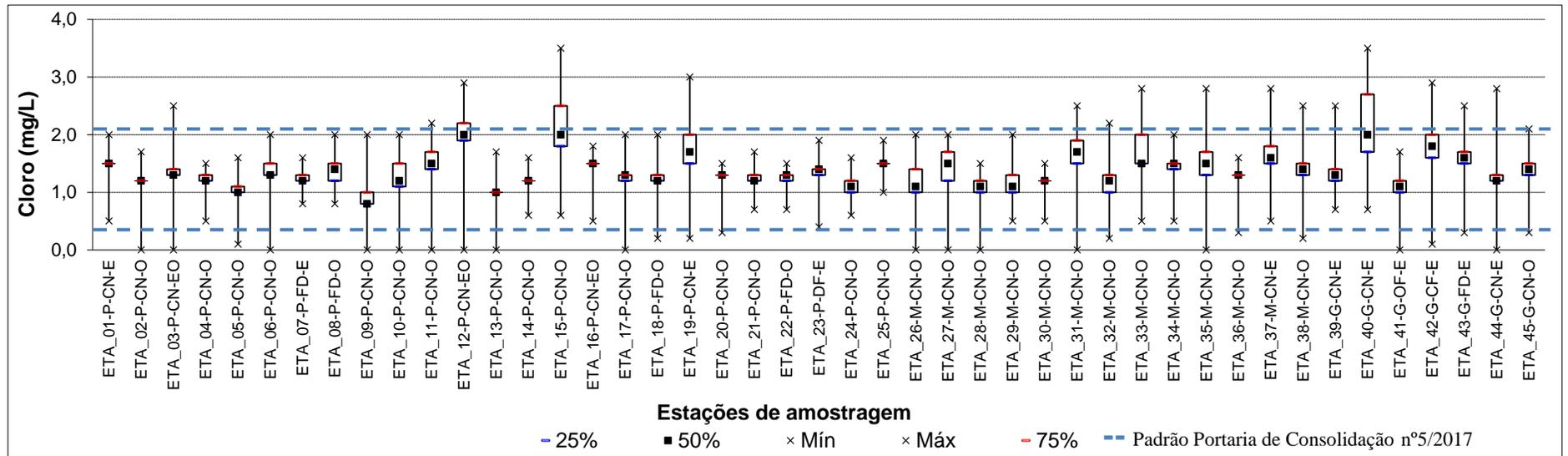
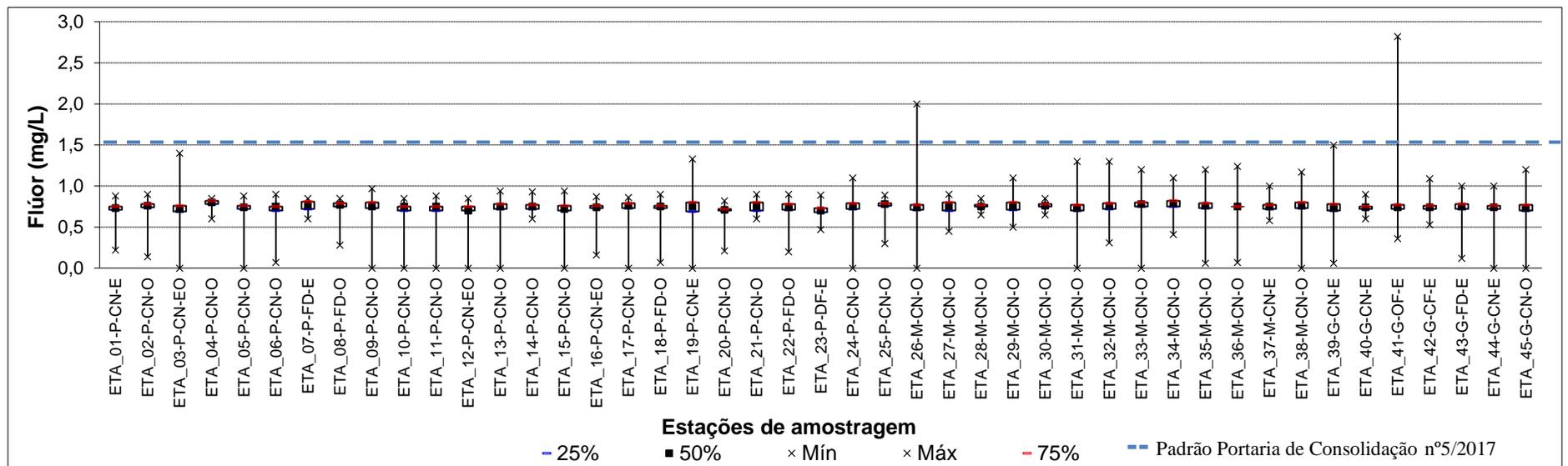


Figura 5.14 – Gráfico *Box-whisker* para o parâmetro Flúor residual – Água tratada



## **5.5 Conclusão**

Conclui-se que, apesar de todas as ETA que apresentaram maior turbidez e cor aparente da água bruta serem de ambiente lótico, nenhuma apresentou elevados valores de turbidez e cor aparente para a água tratada, ou seja, a característica do ambiente de captação da água bruta possivelmente não está interferindo na eficiência do tratamento.

Os parâmetros da água bruta apresentaram maior variação dos dados em relação aos parâmetros da água tratada, sendo esta variação mínima ao se considerar a amplitude interquartil referente aos dados de cor aparente da água tratada. A maioria das estações registraram valores de cor aparente da água tratada entre 1 e 5 uH, sendo que 17 ETA apresentaram mediana de 1 uH, 27 ETA mediana de 2,5 uH e apenas 1 ETA apresentou mediana de 5 uH. Cabe ressaltar que não é possível comparar o desempenho dessas estações em função destes três valores tendo em vista que não se tem informação acerca do limite de detecção dos equipamentos utilizados em cada uma delas. Além disso, 44 estações apresentaram para cor aparente da água tratada um valor máximo de 15 uH, atendendo o padrão de potabilidade brasileiro.

Em relação aos demais parâmetros, é possível concluir que tanto os valores de pH da água bruta quanto da água tratada apresentaram baixa variação e, no geral, atenderam os limites inferior e superior preconizados pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde. Além disso, entre o intervalo de 0 a 3 mg/l houve uma considerável variação nas concentrações de cloro, enquanto que as concentrações de flúor se apresentaram aparentemente constantes entre o intervalo de 0,5 e 1 mg/l e com poucas ETA em desacordo com o limite definido pela Portaria de Potabilidade Brasileira.

## **6 COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO TESTES ESTATÍSTICOS NÃO PARAMÉTRICOS E FERRAMENTA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA**

### **6.1 Introdução**

Neste capítulo primeiramente foi realizada uma comparação qualitativa dos parâmetros da água bruta e tratada das estações, considerando a tecnologia, o porte e o tipo de manancial de captação. Posteriormente, testes estatísticos de hipóteses não paramétricos foram utilizados para comparação da água bruta e tratada das ETA. Todos os testes foram desenvolvidos no “software” XLSTAT.

Conforme mencionado na revisão da literatura, a análise de Cluster permite interpretar conjuntos de dados complexos por meio de uma redução significativa das observações. Assim, tal análise por meio do agrupamento hierárquico possibilita agrupar objetos (estações de tratamento de água) com base nas características avaliadas.

Desta forma, neste capítulo também foi analisada a formação de agrupamentos das estações de tratamento de água em função dos parâmetros da água bruta (vazão, turbidez, cor aparente e pH) e da água tratada (vazão, turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor), que possam explicar o desempenho similar ou não das estações.

A análise de agrupamentos permitiu verificar se os parâmetros da água bruta e tratada influenciam na formação dos grupos em função do tipo de manancial de captação, do porte da estação e da tecnologia de tratamento empregada. Ou seja, se existe um padrão de estações do mesmo tipo (captação em ambiente semelhante, porte semelhante ou mesma tecnologia de tratamento empregada) se agruparem, em função dos parâmetros de qualidade da água estudados, que possam justificar o desempenho das mesmas. Assim, a análise de Cluster (AC) é uma tentativa de evidenciar as estações de tratamento com desempenhos similares e aquelas que se diferenciam de todas as outras.

Ressalta-se que a análise estatística multivariada de desempenho das estações foi realizada apenas para as tecnologias de tratamento convencional (37 estações) e filtração direta (cinco estações), tendo em vista que as demais tecnologias correspondem à apenas uma estação.

## **6.2 Objetivo**

Comparar a água bruta e tratada das estações, segundo tecnologia, porte e tipo de manancial, através de testes estatísticos não paramétricos e estatística multivariada.

## **6.3 Metodologia**

### **6.3.1 Comparação qualitativa das estações de tratamento**

Para permitir uma visualização comparativa preliminar das estações, em função da tecnologia de tratamento, foram elaborados gráficos *Box-Whisker* para comparar todas as 45 ETA, de forma conjunta, desconsiderando a distinção do porte e do tipo de manancial. Ou seja, buscou-se identificar diferenças na qualidade da água bruta e tratada considerando o emprego das cinco tecnologias de tratamento - ciclo completo com flotação (CF), convencional (CN), filtração direta (FD), dupla filtração (DF) e oxidação com filtração (OF).

Do mesmo modo, as ETA foram agrupadas por porte, independentemente do tipo de tecnologia de tratamento e de manancial adotado e comparadas quanto à qualidade da água bruta e tratada.

E, finalmente, foram agrupadas todas as estações que adotavam o mesmo tipo de manancial, desconsiderando a tecnologia de tratamento e o porte, visando identificar diferenças nos valores medidos de turbidez, cor aparente e pH da água bruta.

### **6.3.2 Comparação de desempenho das estações de tratamento agrupadas por características similares**

Para uma comparação estatística mais criteriosa, as análises foram efetuadas por grupos selecionados por características específicas. Isto foi necessário já que o número de ETA contido em cada tipo de tecnologia de tratamento, porte e manancial variou muito, como já mencionado anteriormente. Algumas tecnologias de tratamento foram representadas por apenas uma estação, caso do ciclo completo com flotação (CF), da dupla filtração (DF) e da oxidação com filtração (OF), fragilizando os resultados das análises. Dessa forma, foi necessário efetuar a comparação da água bruta e tratada das ETA, fixando-se o porte e o manancial para comparar o desempenho da tecnologia de tratamento empregada. A Tabela 6.1, mostra como as estações foram distribuídas pelos três critérios, para visualização das comparações estatísticas que serão efetuadas.

**Tabela 6.1** – Agrupamento das tecnologias de tratamento em função do porte e manancial

Porte e manancial das ETA	Referência completa	Porte e manancial das ETA	Referência completa
Pequeno e lântico/lótico (3 ETA)	ETA_03-P-CN-EO	Médio e lótico (12 ETA)	ETA_26-M-CN-O
	ETA_12-P-CN-EO		ETA_27-M-CN-O
	ETA_16-P-CN-EO		ETA_28-M-CN-O
Pequeno e lântico (4 ETA)	ETA_01-P-CN-E		ETA_29-M-CN-O
	ETA_07-P-FD-E		ETA_30-M-CN-O
	ETA_19-P-CN-E		ETA_31-M-CN-O
	ETA_23-P-DF-E		ETA_32-M-CN-O
Pequeno e lótico (19 ETA)	ETA_02-P-CN-O		ETA_33-M-CN-O
	ETA_04-P-CN-O		ETA_34-M-CN-O
	ETA_05-P-CN-O		ETA_35-M-CN-O
	ETA_06-P-CN-O		ETA_36-M-CN-O
	ETA_08-P-FD-O		ETA_38-M-CN-O
	ETA_09-P-CN-O	Médio e lântico (1 ETA)	ETA_37-M-CN-E
	ETA_10-P-CN-O		
	ETA_11-P-CN-O	Grande e lântico (6 ETA)	ETA_39-G-CN-E
	ETA_13-P-CN-O		ETA_40-G-CN-E
	ETA_14-P-CN-O		ETA_44-G-CN-E
	ETA_15-P-CN-O		ETA_42-G-CF-E
	ETA_17-P-CN-O		ETA_41-G-OF-E
	ETA_18-P-FD-O		ETA_43-G-FD-E
	ETA_20-P-CN-O	Grande e lótico (1 ETA)	ETA_45-G-CN-O
	ETA_21-P-CN-O		
	ETA_22-P-FD-O		
	ETA_24-P-CN-O		
	ETA_25-P-CN-O		

O teste não paramétrico utilizado foi o de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas, quando evidenciada diferença significativa no teste anterior, ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%. Estes testes permitem uma comparação simultânea entre todos os resultados obtidos e a verificação de quais tratamentos apresentam desempenhos diferenciados. Tais resultados foram apresentados para as estações de pequeno porte e mananciais lântico/lótico e para os demais grupos analisados os resultados das comparações constam no Apêndice 3.

### 6.3.3 Organização do banco de dados para aplicação das análises estatísticas multivariadas

Para a realização das análises multivariadas é necessário que as estações de tratamento de água a serem avaliadas apresentem o mesmo número de dados. Tendo em vista as diferenças das frequências de monitoramento, que variaram extremamente entre as ETA, e conseqüentemente números de dados bastante diferentes entre as estações, foi necessário adequar o banco de dados. Para isso, foi selecionada a mesma quantidade de dados por

parâmetro e por estação de tratamento de água para um mesmo período analisado (2013 a 2016).

Para evitar classificações erradas devido às diferenças naturais na dimensão dos dados, os mesmos foram padronizados, ou seja, normalizados com média zero e variância igual a um, tornando os dados adimensionais (SIMEONOV *et al.*, 2003; SINGH *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2011).

#### **6.3.4 Análise multivariada dos parâmetros da água bruta**

A primeira etapa da análise multivariada consistiu em agrupar as estações de acordo com a similaridade dos níveis dos diversos parâmetros da água bruta (vazão, turbidez, cor aparente e pH) utilizando a análise de Cluster (AC).

Na análise de Cluster foi utilizado o método hierárquico (análise hierárquica de agrupamentos). Destaca-se que foram testados três tipos de ligações (Ligação Simples: mínima distância ou vizinho mais próximo; Ligação Completa: máxima distância ou vizinho mais distante e; Método de Ward: agrupamentos ótimos que minimizam a variação intra-grupos e maximizam a variação entre grupos) (HAIR *et al.*, 2005). O Método de Ward apresentou o melhor ajuste aos dados, sendo apresentado nos resultados. A medida de similaridade utilizada foi a distância euclidiana, que considera o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo formado a partir de dois pontos em duas dimensões.

Para calcular a altura da linha de corte, que determina a quantidade de grupos no dendrograma gerado, foram utilizadas as recomendações de Sharma (1996), com os valores das distâncias de ligação entre as várias (ETA), para os dados da água bruta das estações. O corte foi realizado em relação à maior distância em que os grupos foram formados.

Para analisar a coerência dos agrupamentos formados pela AC, foi realizada a avaliação comparativa dos grupos através do teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas, considerando um nível de significância de 5%.

#### **6.3.5 Análise multivariada dos parâmetros da água tratada**

Na segunda etapa, com a utilização dos métodos multivariados, foi comparado o desempenho das estações, considerando as tecnologias de tratamento convencional (CN) e filtração direta (FD), em função dos diferentes portes e dos tipos de manancial, analisando simultaneamente os valores de vazão, turbidez, cor aparente, pH e concentrações de cloro e flúor residuais.

Para a água tratada, na análise de Cluster também foi utilizado o método hierárquico para formação dos agrupamentos, assim como o Método de Ligação de Ward, que se ajustou melhor aos dados. A medida de similaridade utilizada também foi a distância euclidiana e a determinação da altura da linha de corte foi feita de forma semelhante ao apresentado para a água bruta.

Ressalta-se que o “software” *Statistica 10* foi utilizado para a execução das análises multivariadas descritas.

## **6.4 Resultados e discussões**

### **6.4.1 Comparação qualitativa das estações de tratamento**

#### **6.4.1.1 Avaliação das ETA agrupadas por tecnologia de tratamento**

A Figura 6.1 apresenta os gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada, agrupados por tecnologia. Na sequência é apresentada a Figuras 6.2 com os parâmetros cloro e flúor da água tratada. Em alguns casos, os valores dos parâmetros em questão foram tão elevados que optou-se por referenciar na figura apenas os valores máximos.

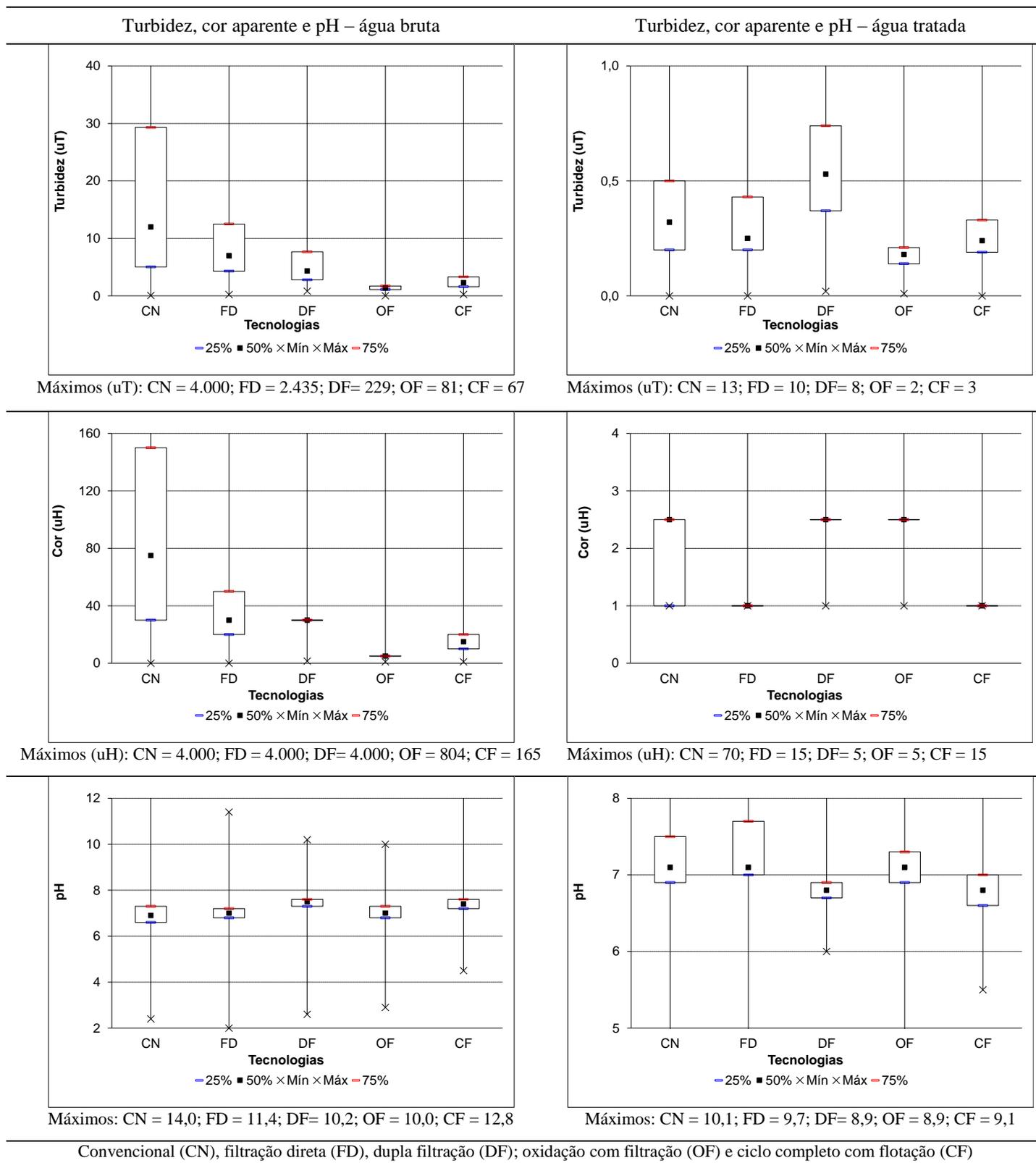
Quando as estações de tratamento são analisadas comparando as tecnologias de tratamento utilizadas entre si é possível observar que a água bruta a ser tratada pela técnica convencional possui os maiores valores para turbidez e para cor aparente em relação às outras tecnologias estudadas, seguida pela água bruta a ser tratada com a tecnologia de filtração direta. Como discutido no item 4.2, a técnica de tratamento convencional é reconhecida como a mais robusta, com possibilidade de adequação da água bruta ao padrão de potabilidade mesmo em condições adversas com níveis elevados de turbidez e cor aparente (DI BERNARDO, 2017).

As tecnologias de tratamento ciclo completo com flotação, dupla filtração e oxidação seguida de filtração apresentaram valores intermediários para a turbidez da água bruta. Salienta-se ainda que a tecnologia de oxidação com filtração foi a que apresentou os menores valores de turbidez para a água bruta, o que condiz com a utilização dessa tecnologia, que é indicada para baixos valores de turbidez. Para o parâmetro cor aparente na água bruta, nota-se ainda reduzida amplitude interquartil para as tecnologias de dupla filtração e de oxidação com filtração. Cabe ressaltar que tais tecnologias foram representadas por apenas uma estação.

Percebe-se que nas amostras de água tratada no período analisado, a turbidez apresenta uma tendência central (ora verificado por sua mediana) abaixo do valor de 0,5 uT, estipulado como padrão na Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, para as tecnologias

empregadas, com exceção da tecnologia de dupla filtração. Já para a cor aparente apenas a tecnologia convencional apresenta alguns registros acima do limite (15 uH) estabelecido pelos padrões e norma que balizam este trabalho.

**Figura 6.1** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada, por tecnologia de tratamento

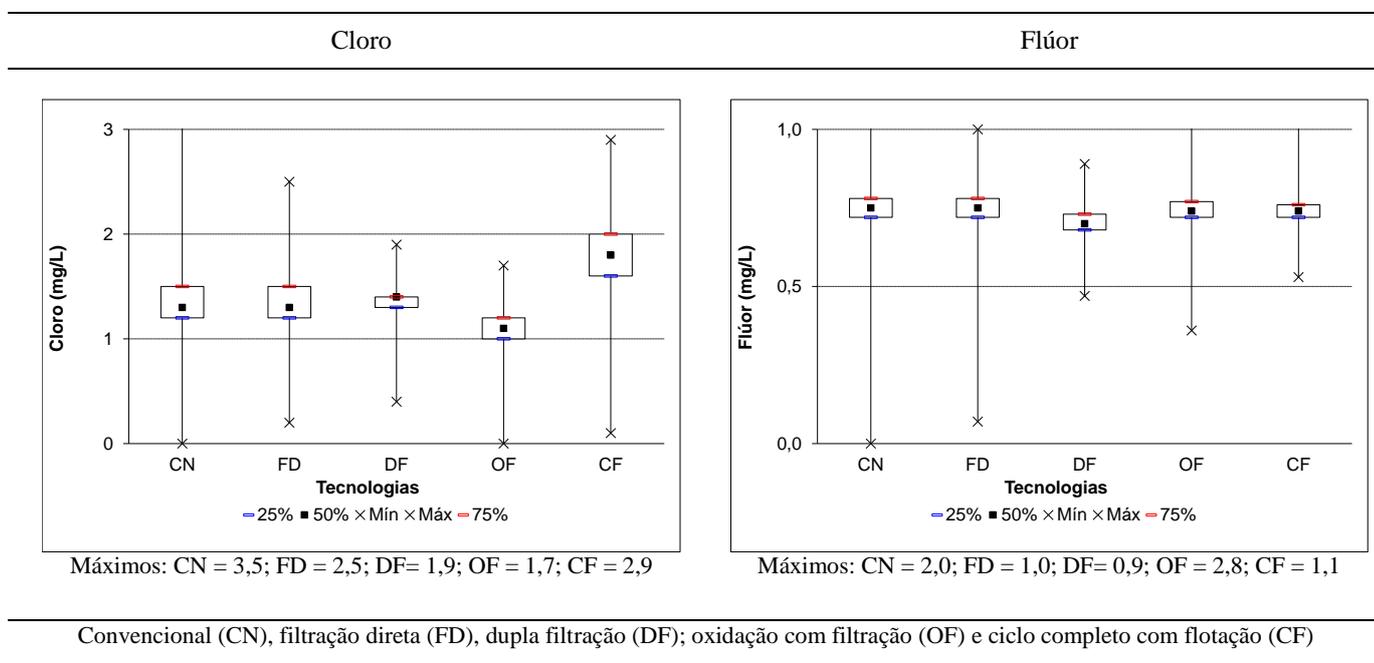


O parâmetro pH apresenta amplitudes interquartis da água bruta com pouca variação, oscilando entre 6 e 8. Na água tratada as amplitudes de pH foram maiores em relação à água bruta, apresentando menor valor mediano na tecnologia de dupla filtração.

A Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde obriga a manutenção de residuais de cloro entre 0,2 e 2,0 mg/L e valores máximos de 5 mg/L na rede de distribuição. É possível notar menor estabilidade nas concentrações de cloro residual para o tratamento ciclo completo com flotação (Figura 6.2). No entanto, verifica-se que para todas as tecnologias empregadas as medianas das concentrações de cloro são inferiores à 2mg/L e que não foi registrada nenhuma concentração superior a 5mg/L.

Para o parâmetro flúor a Portaria de Consolidação nº 5 /2017 do Ministério da Saúde estabelece que os valores residuais na rede de distribuição fiquem compreendidos entre 0,7 e 1,0 mg/L com máximo de 1,5 mg/L. De acordo com a análise da Figura 6.2, a amplitude interquartil de todas as tipologias estudadas está dentro deste intervalo, o que denota boa estabilidade e desempenho das ETA, visto a estreita diferença entre os percentis 25 e 75%, o que pode ser indício de adequada operação das mesmas.

**Figura 6.2** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada, por tecnologia de tratamento



#### 6.4.1.2 Avaliação das ETA agrupadas por porte

A Figura 6.1 apresenta os gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada, agrupados por tecnologia. Na sequência é apresentada a Figura 6.4 com os parâmetros cloro e flúor da água tratada.

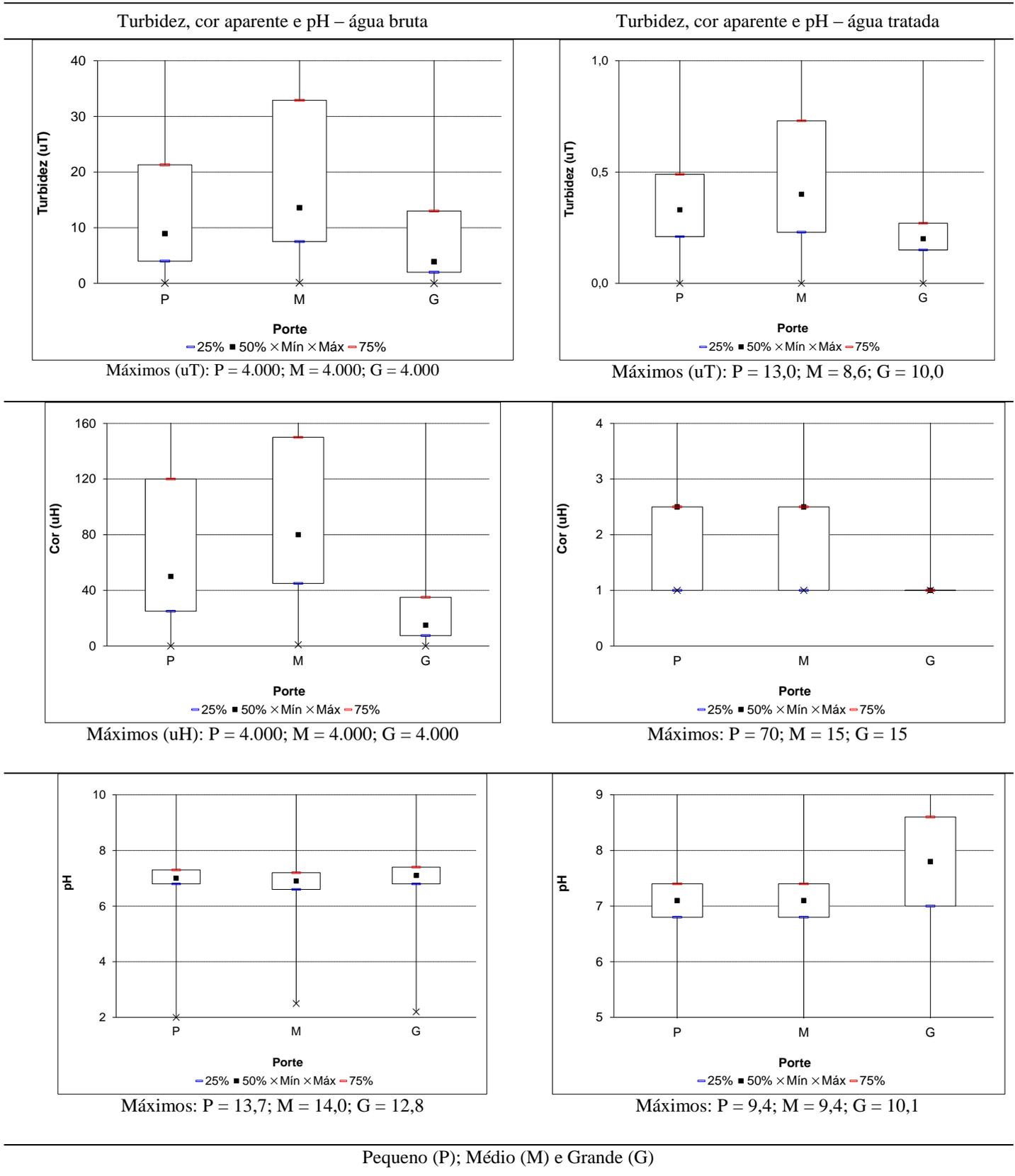
De acordo com a Figura 6.3, na água bruta, a turbidez e a cor aparente apresentaram valores superiores para as estações de médio porte, porém o pH das ETA de médio porte aparece como o menor em relação aos demais. Ressalta-se a grande amplitude interquartil tanto para a turbidez como para a cor aparente da água bruta em todos os portes, enquanto o pH apresenta-se com pouca variação, oscilando entre 6 e 8.

Para o parâmetro de turbidez de água tratada, segundo a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, 95% dos valores de turbidez devem ficar abaixo de 0,5 uT. Isso ocorre somente nas estações de grande porte, que apresentaram valores medianos e interquartis menores.

O *box-whisker* da cor aparente da água tratada apresenta valores bem destacados correspondentes aos limites de detecção dos aparelhos de medição. Para estações de grande porte, o valor é de 1 uH, o que justifica a presença até o percentil 75 com esse valor. Para as estações de pequeno e médio porte, existe a utilização, em algumas estações de tratamento de água, de aparelhos de medição menos sofisticados, com valor de detecção de 2,5 uH, correspondente ao percentil 75. Isso auxilia no entendimento do motivo das estações de grande porte apresentarem cor aparente da água tratada menor que às demais. Além disso, verifica-se a similaridade dos *box-whiskers* formados pelas estações de médio e pequeno porte.

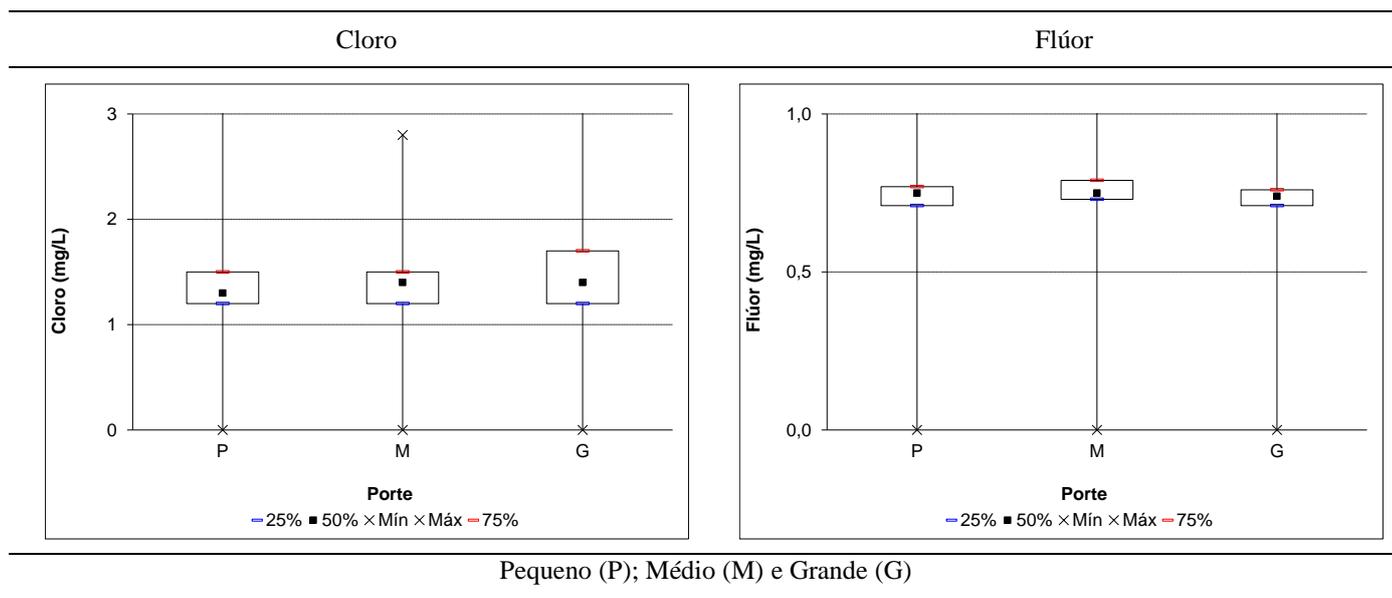
O parâmetro pH da água tratada tem valores entre 6 e 9,5 em todas as medições das estações de pequeno e médio porte. Nas estações de grande porte, os percentis e intervalos interquartis são maiores e ocorre somente uma medição fora desse intervalo, provavelmente por erros de medição.

**Figura 6.3 – Gráficos *box-whisker* das dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada, por porte**



Na Figura 6.4 é possível notar menor estabilidade nas concentrações de cloro residual para as ETA de grande porte. No entanto, verifica-se que para todos os portes os percentis 75 das concentrações de cloro são inferiores à 2mg/L, conforme limite estabelecido na Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde. Para flúor residual verifica-se uma estreita amplitude interquartil para todos os portes estudados. Além disso, os intervalos interquartis das concentrações de flúor estão dentro do intervalo preconizado pelos padrões de Portabilidade (entre 0,7 e 1 mg/L) o que denota boa estabilidade e desempenho das ETA.

**Figura 6.4** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada, por porte

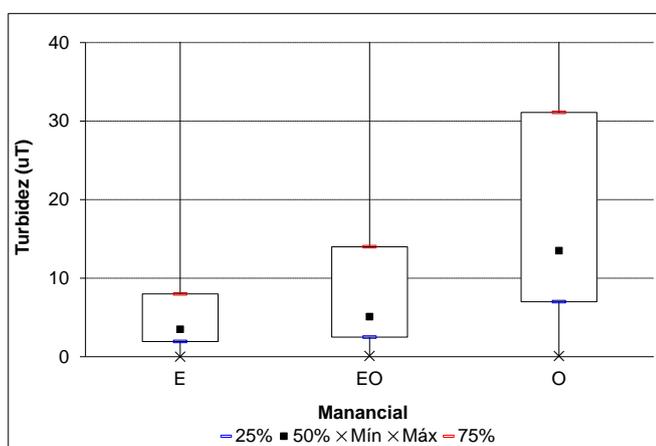


Pequeno (P); Médio (M) e Grande (G)

### 6.4.1.3 Avaliação das ETA agrupadas por manancial

As Figura 6.5, apresentam os gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, respectivamente, por tipo de manancial.

**Figura 6.5** – Gráfico *box-whisker* do parâmetro turbidez da água bruta por tipo de manancial

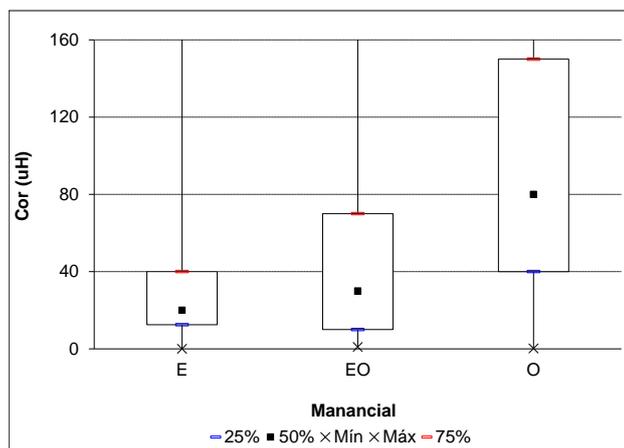


Lêntico (E); Lótico (O) e Lêntico/Lótico (EO)

Máximos (uT): E = 4.000; EO = 4.000; O = 4.000

De acordo com a Figura 6.5, a turbidez da água bruta dos mananciais lênticos, representado por barragem de acumulação ou barragem de nível, foi menor que nas demais modalidades de ambiente de captação, conforme esperado. Em um manancial lêntico, os sólidos presentes na água sedimentam-se mais facilmente que aqueles presentes em um manancial lótico, pelo fato da velocidade de escoamento da água ser consideravelmente baixa.

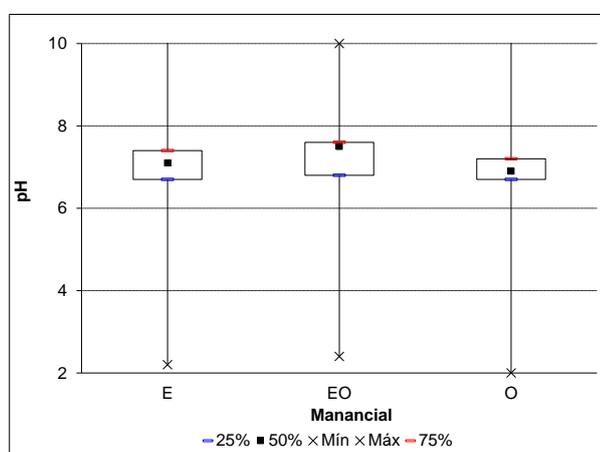
**Figura 6.6** – Gráficos *box-whisker* do parâmetro cor da água bruta por tipo de manancial



Lêntico (E); Lótico (O) e Lêntico/Lótico (EO)  
Máximos (uH): E = 4.000; EO = 4.000; O = 4.000

Os mananciais lênticos também apresentaram os menores valores para o parâmetro cor aparente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), comportamento similar ao parâmetro turbidez. Ressalta-se que os valores máximos tanto de turbidez quanto de cor aparente foram iguais a 4.000 unidades, correspondente ao limite de detecção do método, uma vez que não se tem conhecimento dos equipamentos de medição utilizados em cada ETA. Já o parâmetro pH apresentou amplitudes interquartis da água bruta com pouca variação, oscilando entre 6 e 8, nos três tipos de mananciais (Figura 6.7).

**Figura 6.7** – Gráficos *box-whisker* do parâmetro pH da água bruta por tipo de manancial



Lêntico (E); Lótico (O) e Lêntico/Lótico (EO)  
Máximos: E = 14,0; EO = 10,0; O = 13,7

## 6.4.2 Comparação de desempenho das estações de tratamento agrupadas por características similares

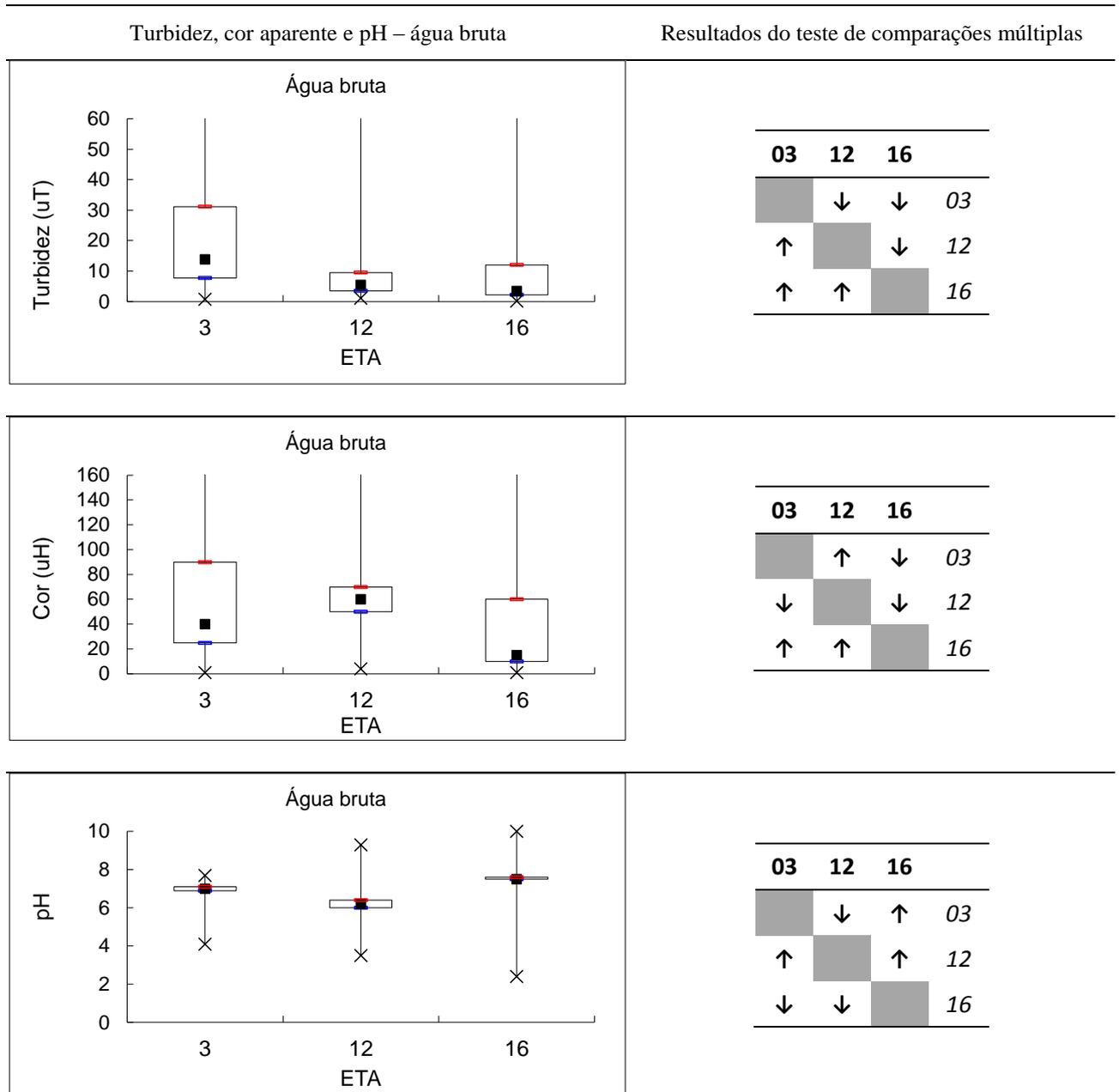
### 6.4.2.1 Estações de tratamento de pequeno porte e manancial lântico/lótico

A Figura 6.8 apresenta os gráficos *box-whisker* para os parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e a Figura 6.9 para os parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água tratada entre as estações de tratamento de pequeno porte e manancial lântico/lótico. Todos os parâmetros foram significativamente diferentes de uma estação em relação à outra, tanto para água bruta quanto para a água tratada.

Sobre a turbidez verifica-se que os maiores valores na água bruta e na água tratada foram registrados na ETA\_03-P-CN-EO. Já a mediana da turbidez tanto da água bruta quanto da água tratada na ETA\_16-P-CN-EO foi significativamente inferior às demais.

Em relação à cor aparente, observa-se que a ETA\_12-P-CN-EO apresentou para a água bruta valor mediano superior às outras duas ETA. No entanto, na água tratada a ETA\_12-P-CN-EO foi a que registrou menor valor mediano para este parâmetro, indicando boa eficiência de remoção. Ressalta-se que as ETA\_03-P-CN-EO e ETA\_16-P-CN-EO apresentaram amplitudes interquartis mínimas para o parâmetro cor aparente da água tratada, não sendo possível visualizar o box formado com a escala utilizada, indicando também ótima capacidade de remoção deste parâmetro. Por fim, em relação ao pH, pode-se dizer que o mesmo também se manteve entre 6 e 8 para ambos os tipos de águas. Importante frisar que todos os três parâmetros aqui discutidos (turbidez, cor aparente e pH) mantiveram-se em acordo com o estabelecido Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde.

**Figura 6.8** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta para ETA de pequeno porte e manancial lântico/lótico e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )



Legenda: ETA\_03-P-CN-EO, ETA\_12-P-CN-EO, ETA\_16-P-CN-EO

× Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

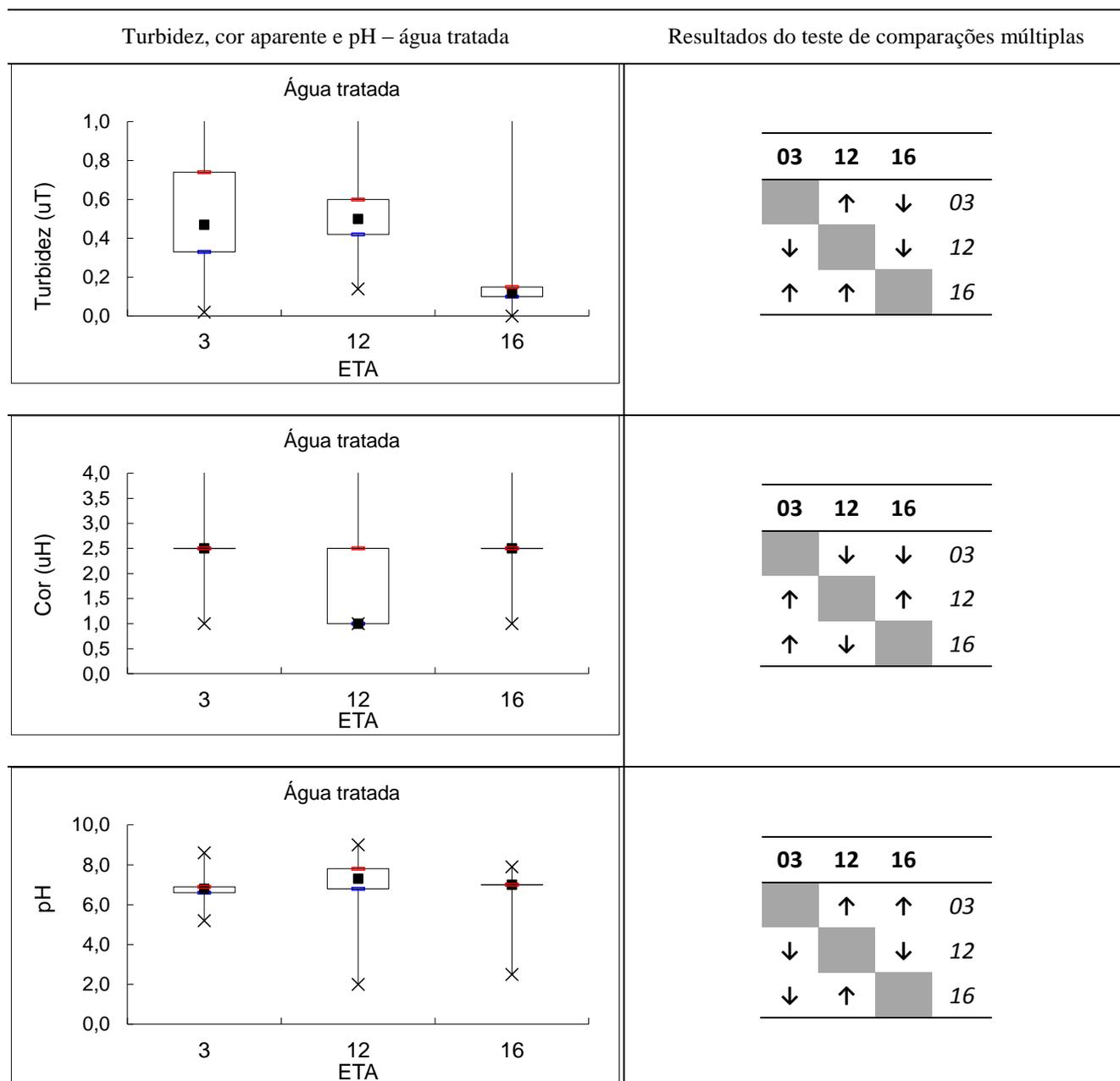
↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

O parâmetro cloro residual (Figura 6.10) destacou-se com valores mais altos na ETA\_12-P-CN-EO, acima de 2,0 mg/L. Já as outras duas ETA cumpriram os critérios da Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde.

Ainda analisando a Figura 6.10, constata-se que o parâmetro flúor residual atendeu a Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde, em todas as ETA, a qual impõe que os valores residuais de flúor na rede de distribuição fiquem compreendidos entre 0,7 e 1,0 mg/L com máximo de 1,5 mg/L.

**Figura 6.9** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico/lótico e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )



Legenda: ETA\_03-P-CN-EO, ETA\_12-P-CN-EO, ETA\_16-P-CN-EO

× Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

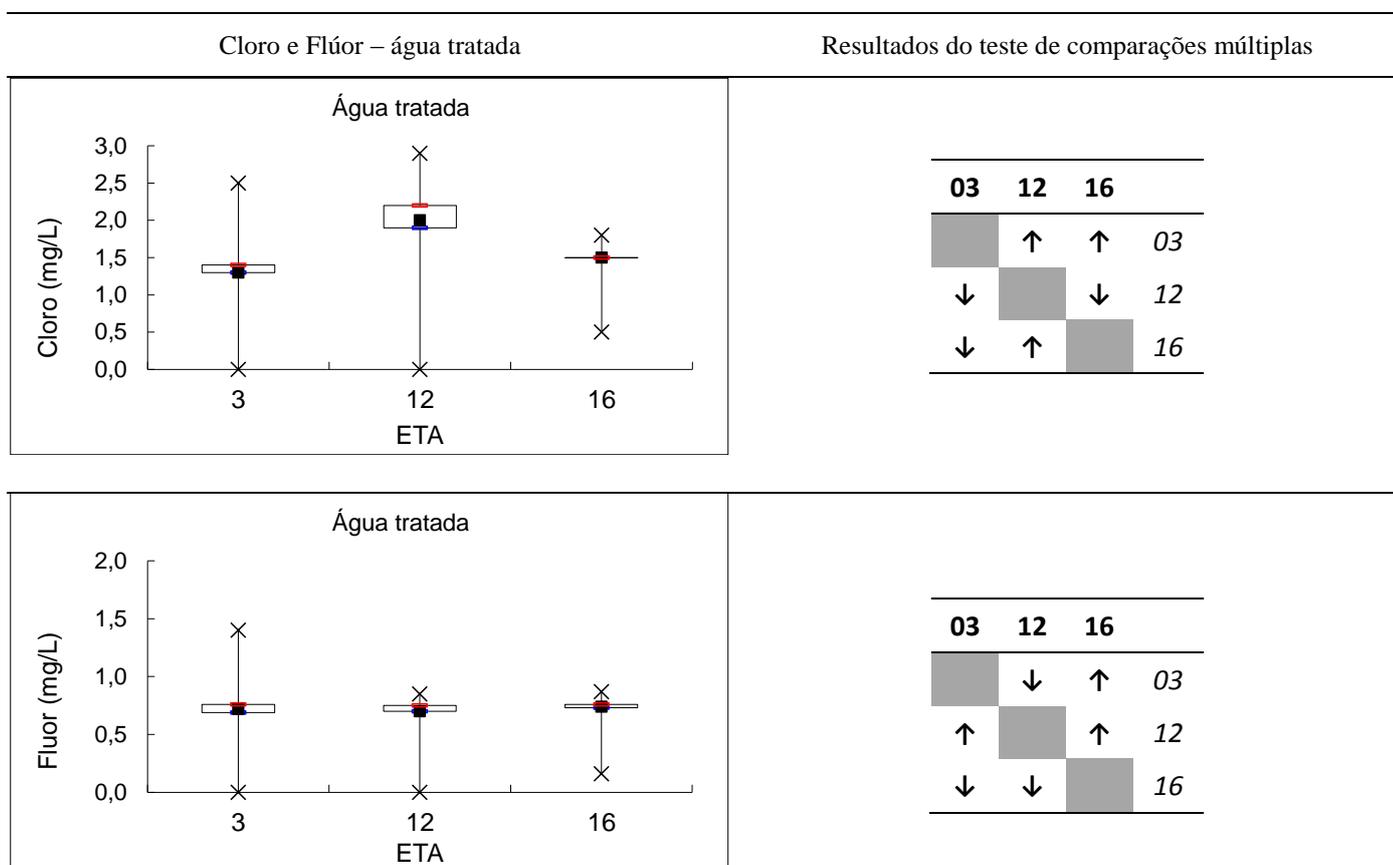
≡ Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

A partir da análise da qualidade da água bruta e tratada pelas três estações (ETA\_03-P-CN-EO, ETA\_12-P-CN-EO, ETA\_16-P-CN-EO) observa-se que estações de mesma tecnologia, porte e manancial apresentaram desempenhos distintos. Desta forma, fatores de projeto e operacionais (tipo de coagulante, dosagem de produtos químicos, condições de mistura, tipo de unidade de filtração, dentre outros) influenciam no desempenho das estações e portanto na qualidade da água produzida, conforme evidenciado no estudo realizado por Bastos *et al.* (2017) para duas ETA de ciclo completo.

**Figura 6.10** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico/lótico e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )



Legenda: ETA\_03-P-CN-EO, ETA\_12-P-CN-EO, ETA\_16-P-CN-EO

× Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

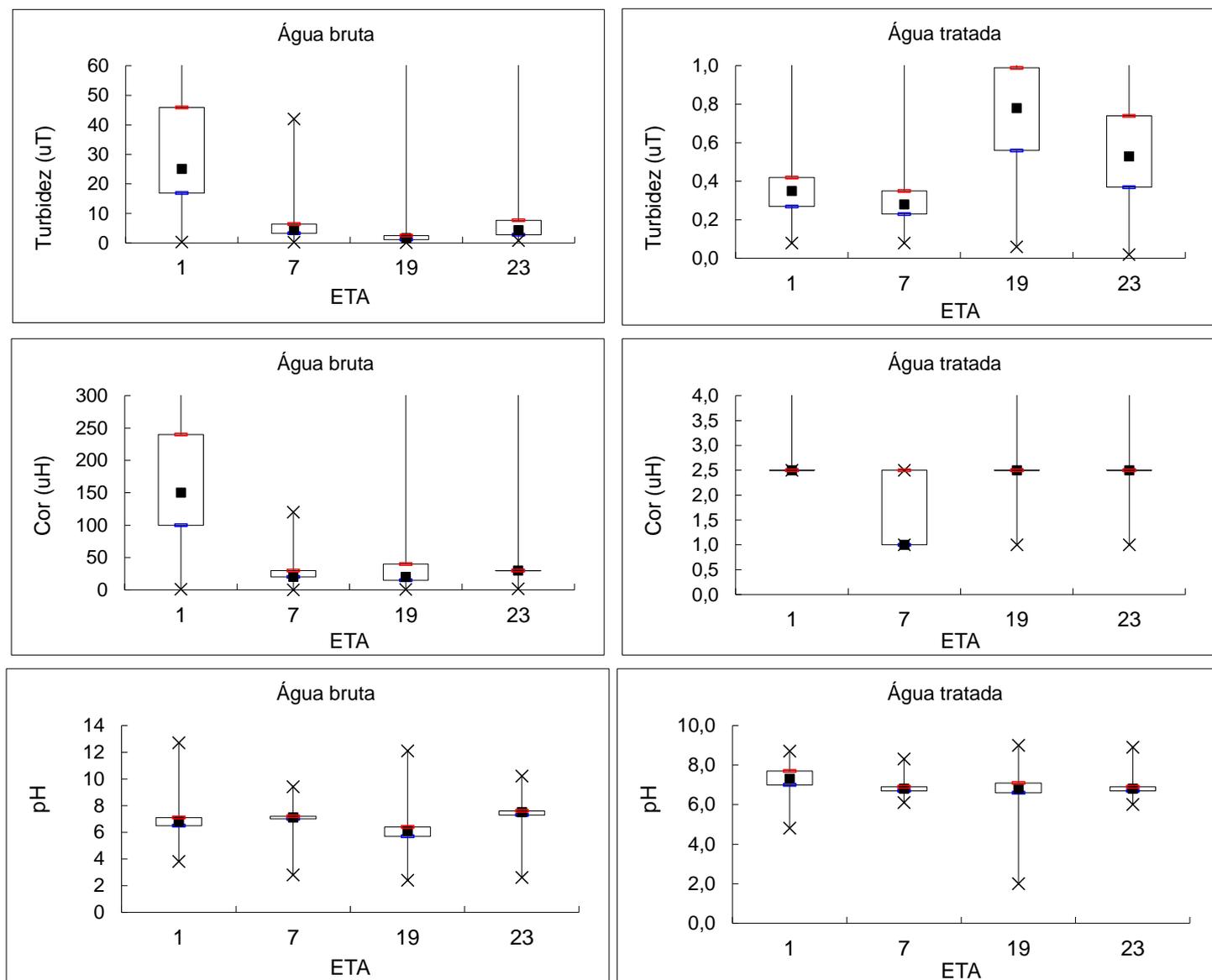
#### 6.4.2.2 Estações de tratamento de pequeno porte e manancial lântico

A Figura 6.11 apresenta os gráficos *box-whisker* para os parâmetros (turbidez, cor aparente e pH da água bruta e da água tratada) considerando as estações de tratamento de pequeno porte e manancial lântico. Com intuito de facilitar a interpretação dos resultados dos testes não

paramétricos de *Kruskal-Wallis* para amostras independentes, seguido dos testes de comparações múltiplas, foi elaborado o Apêndice 3, que mostra uma representação das diferenças significativas de cada ETA em relação às demais, para os parâmetros analisados.

Para a água bruta é possível observar a diferença entre as duas estações que utilizam a tecnologia convencional, a ETA\_01-P-CN-E apresentou valores mais elevados de turbidez e cor aparente em relação às demais, destacando-se pela elevada amplitude interquartil. Enquanto a ETA\_19-P-CN-E apresentou valores mais baixos para turbidez. Já o pH da água bruta, no geral apresentou reduzida amplitude interquartil em todas as ETA, com variação aproximadamente entre 6 e 8.

**Figura 6.11** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico

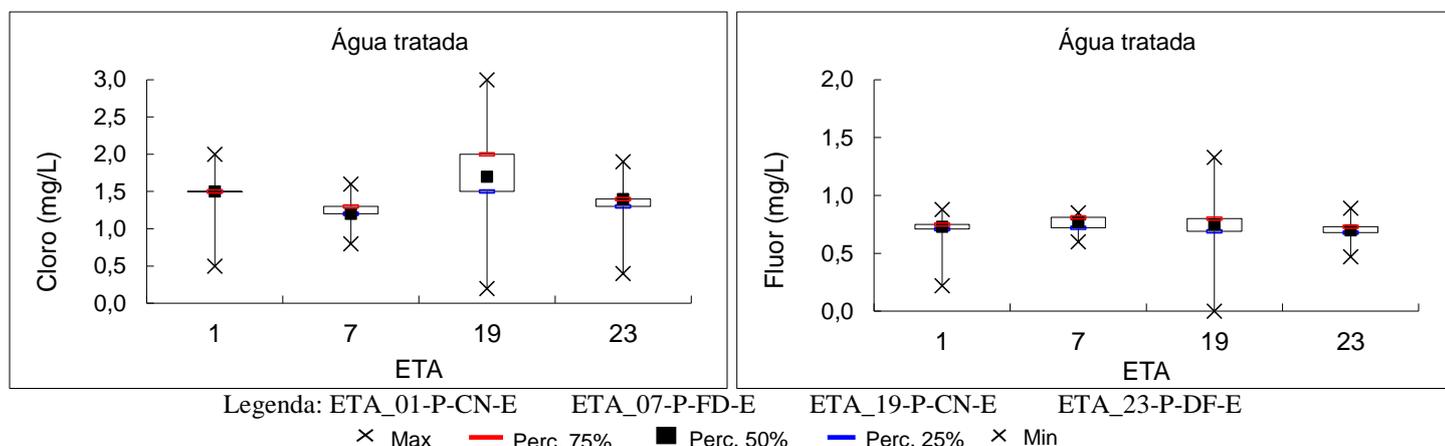


Legenda: ETA\_01-P-CN-E    ETA\_07-P-FD-E    ETA\_19-P-CN-E    ETA\_23-P-DF-E  
 × Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

No que se refere à qualidade da água tratada é possível observar que 75% dos dados de turbidez ficaram abaixo de 1 uT (máximo permitido pela Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde) em todas as ETA e no caso das ETA\_01-P-CN-E e ETA\_07-P-FD-E, 75% dos dados também ficaram abaixo de 0,5 uT (limite mais restritivo da Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde). A ETA ETA\_19-P-CN-E, apesar de ter apresentado baixos valores de turbidez na água bruta, na água tratada se destacou em relação as demais com valores mais elevados para este parâmetro. Para todas as ETA os valores de cor aparente da água tratada ficaram bem abaixo do limite de 15 uH estabelecido pela portaria de potabilidade do Brasil, sendo a mediana da cor aparente da ETA\_07- P- FD-E (1 uH) significativamente inferior as demais. Cabe ressaltar que a mediana da cor aparente da água tratada pelas ETA\_01-P-CN-E e ETA\_23-P-DF-E não apresentaram diferenças significativas. O pH da água tratada também apresentou valores entre 6 e 8.

De acordo com a análise da Figura 6.12, é possível notar que tanto o cloro quanto o flúor apresentaram maiores amplitudes interquartis na ETA\_19-P-CN-E, o que pode ser indício de má operação, tendo em vista que tais produtos são inseridos no sistema.

**Figura 6.12** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lântico



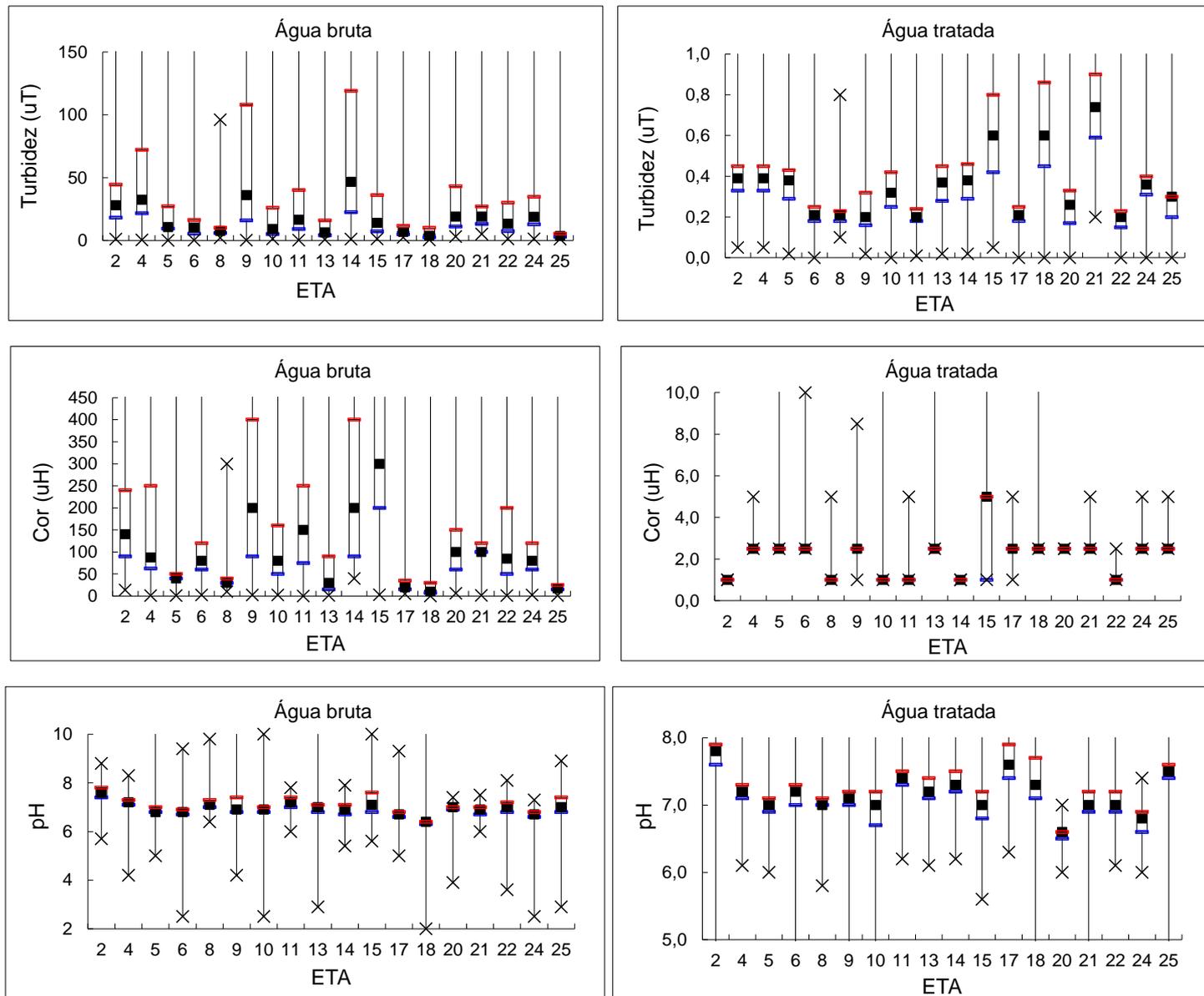
#### 6.4.2.3 Estações de tratamento de pequeno porte e manancial lótico

A Figura 6.13 apresentam os gráficos *box-whisker* para os parâmetros (turbidez, cor aparente e pH da água bruta e da água tratada) entre as estações de tratamento de pequeno porte e manancial lótico.

Observa-se que as ETA\_09-P-CN-O e ETA\_14-P-CN-O registraram maiores valores medianos e de amplitude interquartis para a turbidez da água bruta. Enquanto que as ETA\_15-

P-CN-O, ETA\_18-P-FD-O e ETA\_21-P-CN-O apresentaram medianas e amplitudes interquartis superiores as demais, para a turbidez da água tratada. Ressalta-se que apenas as ETA\_05-P-CN-O e ETA\_15-P-CN-O não diferiram significativamente entre si para a turbidez da água bruta, enquanto que na água tratada, para este parâmetro, as ETA\_05-P-CN-O e ETA\_24-P-CN-O não apresentaram diferenças significativas entre si.

**Figura 6.13** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de pequeno porte e manancial lótico



Legenda: ETA\_02-P-CN-O ETA\_04-P-CN-O ETA\_05-P-CN-O ETA\_06-P-CN-O ETA\_08-P-FD-O ETA\_09-P-CN-O  
 ETA\_10-P-CN-O ETA\_11-P-CN-O ETA\_13-P-CN-O ETA\_14-P-CN-O ETA\_15-P-CN-O ETA\_17-P-CN-O  
 ETA\_18-P-FD-O ETA\_20-P-CN-O ETA\_21-P-CN-O ETA\_22-P-FD-O ETA\_24-P-CN-O ETA\_25-P-CN-O  
 × Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

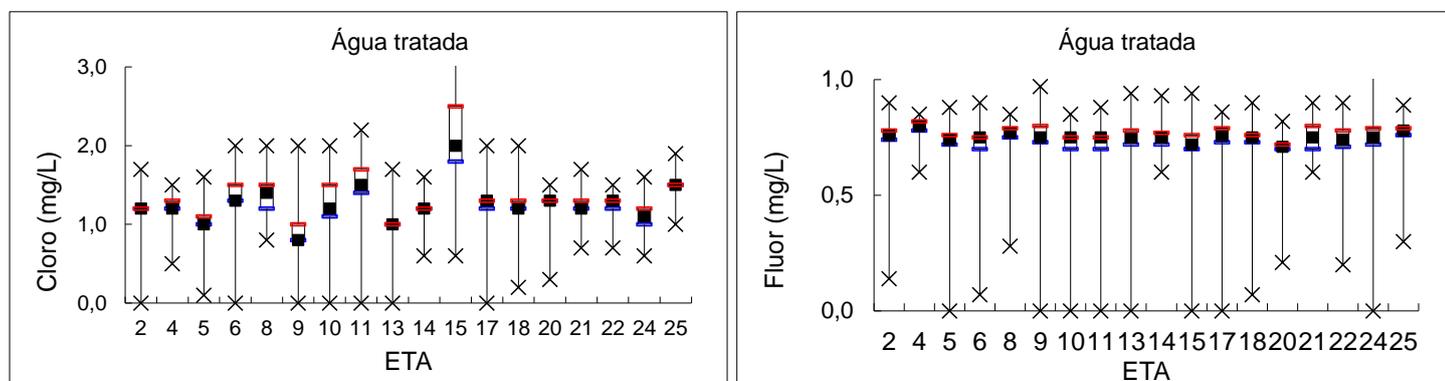
Em relação ao parâmetro cor aparente, na água bruta as ETA\_09-P-CN-O, ETA\_14-P-CN-O e ETA\_15-P-CN-O apresentaram os maiores valores medianos e amplitudes interquartis,

ressaltando que a cor aparente da água bruta foi significativamente diferente em todas as ETA analisadas. Já na água tratada, as ETA\_09-P-CN-O, ETA\_10-P-CN-O, ETA\_15-P-CN-O, ETA\_17-P-CN-O e ETA\_18-P-FD-O apresentaram cor aparente significativamente diferente em relação à todas as ETA, sendo que nas demais a cor aparente não foi significativamente diferente em todas as comparações.

Ainda analisando Figura 6.13, é possível notar que tanto o pH da água bruta quanto o pH da água tratada, no geral apresentaram baixas amplitudes, mas registraram valores mínimos e máximos variados no caso da água tratada em desacordo com o limite estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde.

Em relação ao parâmetro cloro (Figura 6.14), observa-se que apenas a ETA\_15-P-CN-O apresentou concentração mediana superior a 2 mg/l, correspondente ao limite estabelecido pela portaria de potabilidade brasileira. Além disso, várias ETA registraram concentrações mínimas próximas de zero, em desacordo com o limite mínimo de 0,2 mg/L da Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde.

**Figura 6.14** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de pequeno porte e manancial lótico



Legenda: ETA\_02-P-CN-O ETA\_04-P-CN-O ETA\_05-P-CN-O ETA\_06-P-CN-O ETA\_08-P-FD-O ETA\_09-P-CN-O  
 ETA\_10-P-CN-O ETA\_11-P-CN-O ETA\_13-P-CN-O ETA\_14-P-CN-O ETA\_15-P-CN-O ETA\_17-P-CN-O ETA\_18-P-FD-  
 O ETA\_20-P-CN-O ETA\_21-P-CN-O ETA\_22-P-FD-O ETA\_24-P-CN-O ETA\_25-P-CN-O  
 × Max — Perc. 75% ■ Perc. 50% — Perc. 25% × Min

O limite estabelecido pela referida portaria para o parâmetro flúor (0,7 a 1,0 mg/L com no máximo 1,5 mg/L no sistema de distribuição) foi atendido em mais de 75% para todas as ETA, apesar de várias ETA terem registrado valores mínimos próximos de zero.

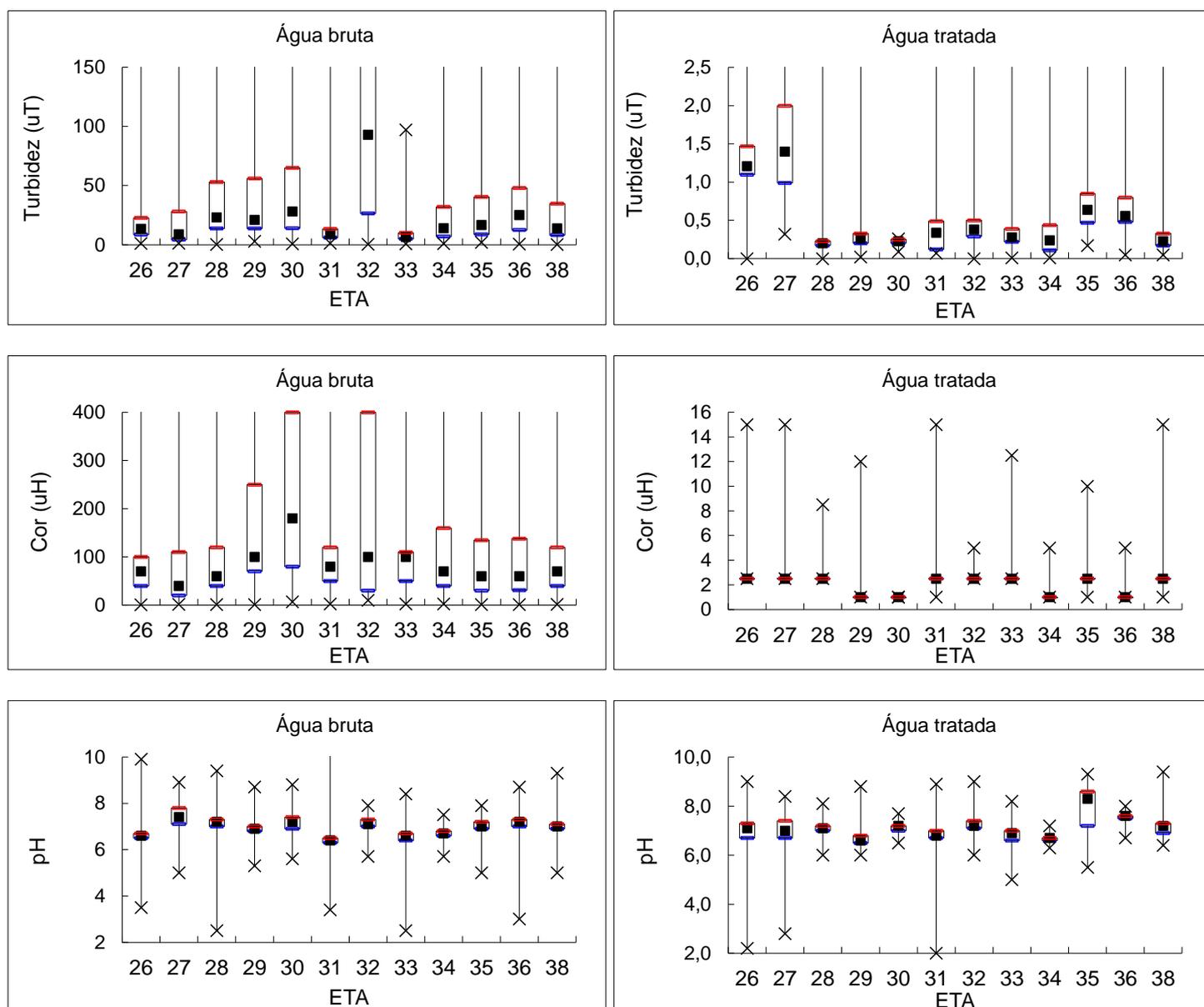
#### 6.4.2.4 Estações de Tratamento de médio porte e manancial lótico

A título de lembrança, as ETA de médio porte se dividiam em apenas dois tipos de mananciais, lântico e lótico, sendo que apenas uma estação captava em manancial lântico e as outras doze em mananciais do tipo lótico, conforme apresentado na Tabela 6.1. Desta forma, somente as ETA que realizam a captação em manancial lótico foram passíveis de comparação.

A Figura 6.15 apresenta os gráficos *box-whisker* para os parâmetros (turbidez, cor aparente e pH da água bruta e da água tratada) entre as estações de tratamento de médio porte e manancial lótico. Todos os parâmetros foram significativamente diferentes de uma estação em relação as demais para água bruta. 50% dos dados de turbidez da água bruta das ETA ficaram abaixo de 50 uT, com exceção da ETA\_32-M-CN-O que apresentou turbidez mediana próxima a 100 uT. Em relação a cor aparente da água bruta, 50% dos dados das ETA ficaram abaixo de 100 uH, com exceção da ETA 30- M-CN-O, a qual apresentou valor mediano para cor aparente próximo a 200 uH. O pH da água bruta apresentou no geral baixas amplitudes interquartis, com valores entre 6 e 8.

No que diz respeito à água tratada, observa-se na Figura 6.15 que apenas as estações ETA\_26-M-CN-O e ETA\_27-M-CN-O apresentaram mais de 75% dos dados de turbidez acima de 1,0 uT, indicando um pior desempenho na remoção deste parâmetro. Já para o parâmetro cor aparente, a maioria dos dados de todas as ETA ficaram abaixo do limite de 15 uT estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde. O pH da água tratada, no geral, apresentou comportamento semelhante ao da água bruta.

**Figura 6.15** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de médio porte e manancial lótico

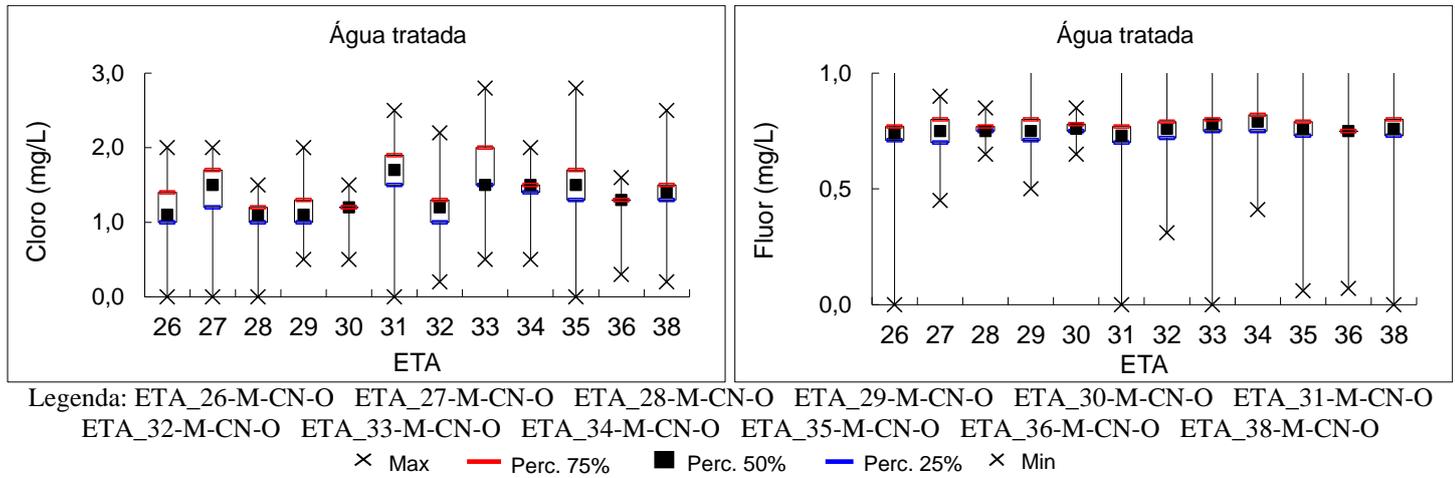


Legenda: ETA\_26-M-CN-O ETA\_27-M-CN-O ETA\_28-M-CN-O ETA\_29-M-CN-O ETA\_30-M-CN-O ETA\_31-M-CN-O  
 ETA\_32-M-CN-O ETA\_33-M-CN-O ETA\_34-M-CN-O ETA\_35-M-CN-O ETA\_36-M-CN-O ETA\_38-M-CN-O  
 × Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

De acordo com a

Figura 6.16, todas as ETA atenderam, na maioria dos casos, o limite estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde para os parâmetros cloro e flúor da água tratada (cloro: 0,2 a 2,0 mg/L; flúor: 0,7 a 1,0 mg/L, com no máximo 1,5 na rede de distribuição), embora tenham sido registrados alguns valores próximos de zero, e em desacordo, portanto com o padrão de potabilidade brasileiro.

**Figura 6.16** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de médio porte e manancial lótico



#### 6.4.2.5 Estações de Tratamento de grande porte e manancial lântico

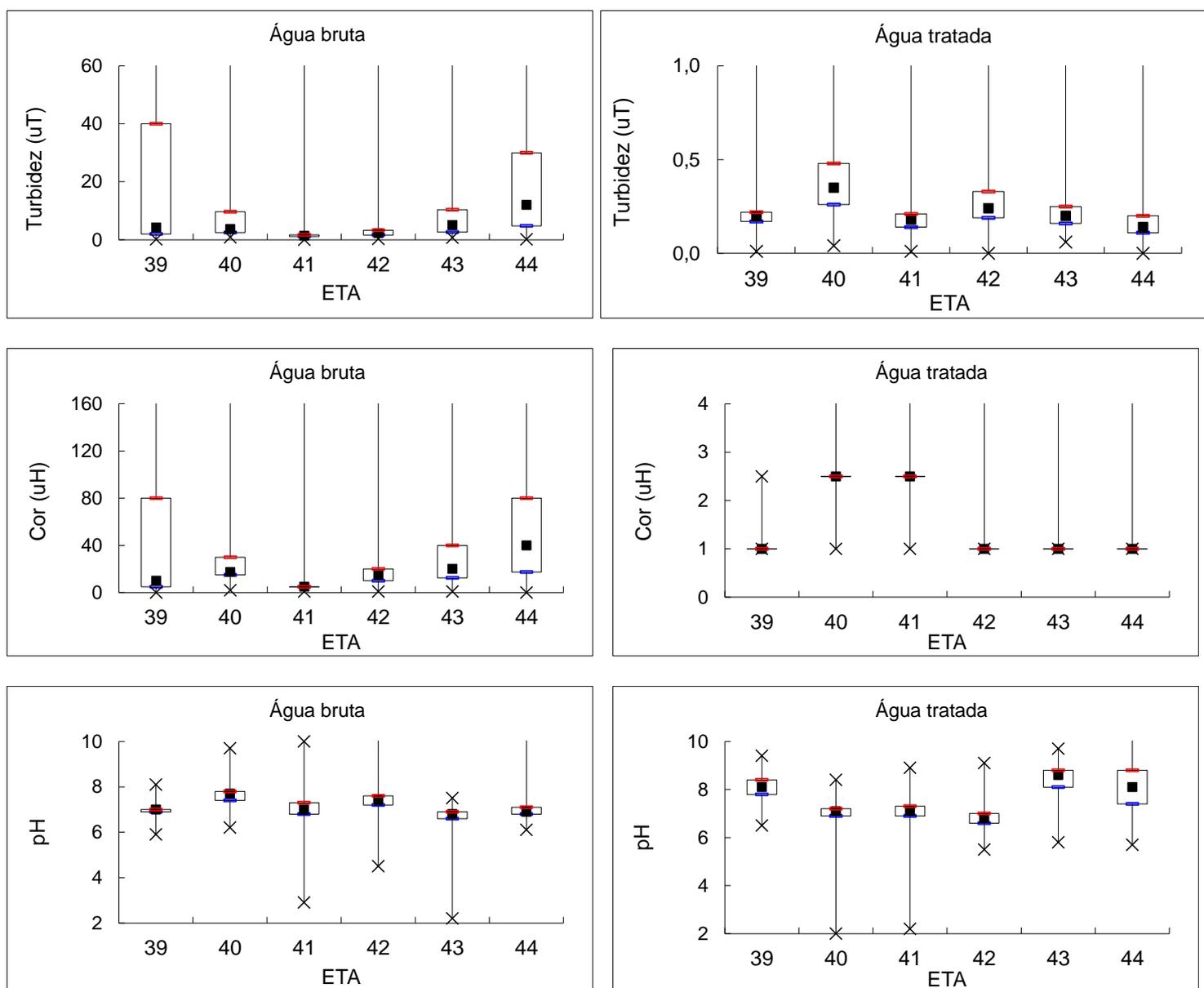
Para as ETA de grande porte foi viável comparar apenas as estações que utilizavam ambientes lânticos como fonte de captação (Tabela 6.1).

A Figura 6.17 apresenta os gráficos *box-whisker* para os parâmetros (turbidez, cor aparente e pH da água bruta e da água tratada) entre as estações de tratamento de grande porte e manancial lântico.

Ressalta-se que todos os parâmetros foram significativamente diferentes de uma estação em relação às demais para água bruta. É possível observar que a turbidez da água bruta foi mais elevada nas estações que empregam a tecnologia de tratamento convencional, em especial nas ETA\_44-G-CN-E e ETA\_39-G-CN-E e mais baixa na estação ETA\_41-G-OF-E que emprega a tecnologia de oxidação filtração. Tais resultados estão de acordo com a literatura. Ressalta-se que comportamento semelhante foi observado para cor aparente da água bruta. O pH, como na maioria das outras comparações já discutidas, também variou de 6 a 8, com baixas amplitudes interquartis.

Em relação à água tratada, observa-se que 75% dos dados de turbidez de todas as ETA ficaram abaixo do limite de 0,5 uT e que a ETA\_44-G-CN-E, que emprega o tratamento convencional, apresentou um ótimo desempenho na remoção deste parâmetro, uma vez que a mesma registrou a menor mediana para a turbidez da água tratada. Já a ETA\_40-G-CN-E, que também é do tipo convencional, apresentou a pior remoção de turbidez, com elevado valor mediano para este parâmetro na água tratada (Figura 6.17).

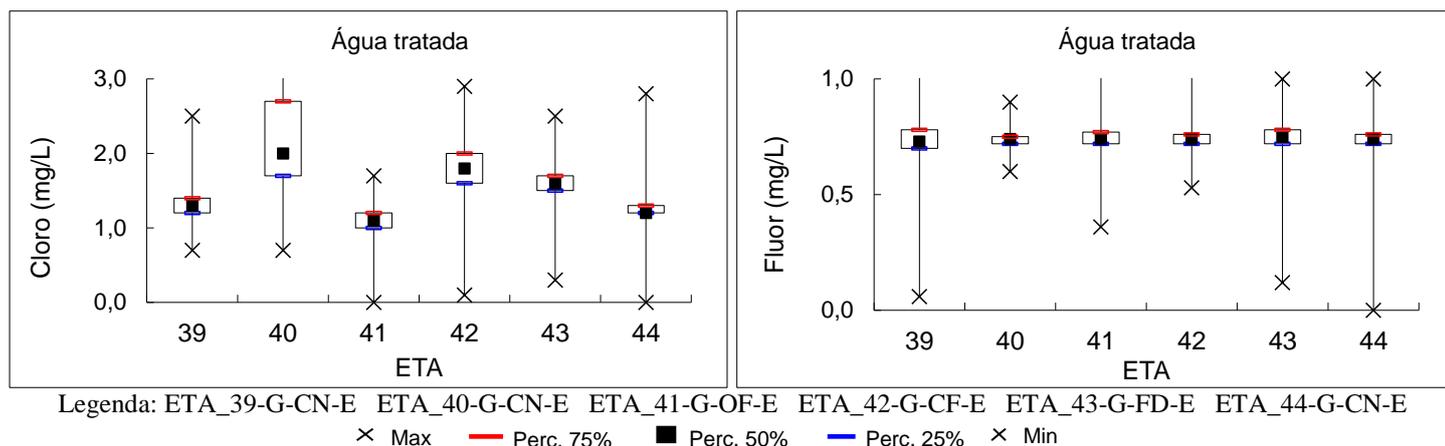
**Figura 6.17** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta e tratada para ETA de grande porte e manancial lântico



Legenda: ETA\_39-G-CN-E ETA\_40-G-CN-E ETA\_41-G-OF-E ETA\_42-G-CF-E ETA\_43-G-FD-E ETA\_44-G-CN-E  
 × Max    — Perc. 75%    ■ Perc. 50%    — Perc. 25%    × Min

A cor aparente da água tratada nas ETA\_39-G-CN-E, ETA\_42-G-CF-E, ETA\_43-G-FD-E e ETA\_44-G-CN-E foram inferiores em relação as ETA\_40-G-CN-E e ETA\_41-G-OF-E, no entanto, todas as ETA apresentaram cor aparente na água tratada inferior ao limite de 15 uH definido na Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde. O pH da água tratada, no geral, também variou entre 6,0 e 8,0; com maior amplitude interquartil registrada na ETA\_44-G-CN-E, mas mesmo assim a maioria dos dados ficaram dentro do limite de 6,0 e 9,5 da Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde.

**Figura 6.18** – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cloro e flúor da água tratada para ETA de grande porte e manancial lântico



Por fim, em relação aos parâmetros cloro e flúor (Figura 6.18), nota-se que para o cloro, em específico, apenas a ETA\_40-G-CN-E registrou a maioria dos valores acima do limite de 2,0 mg/L definido pela portaria de potabilidade brasileira (cerca de 50% dos dados), enquanto que a maioria dos valores medidos para flúor em todas as ETA ficaram em acordo com o padrão definido pela referida portaria (entre 0,7 e 1,0 mg/L com no máximo 1,5mg/L na rede de distribuição).

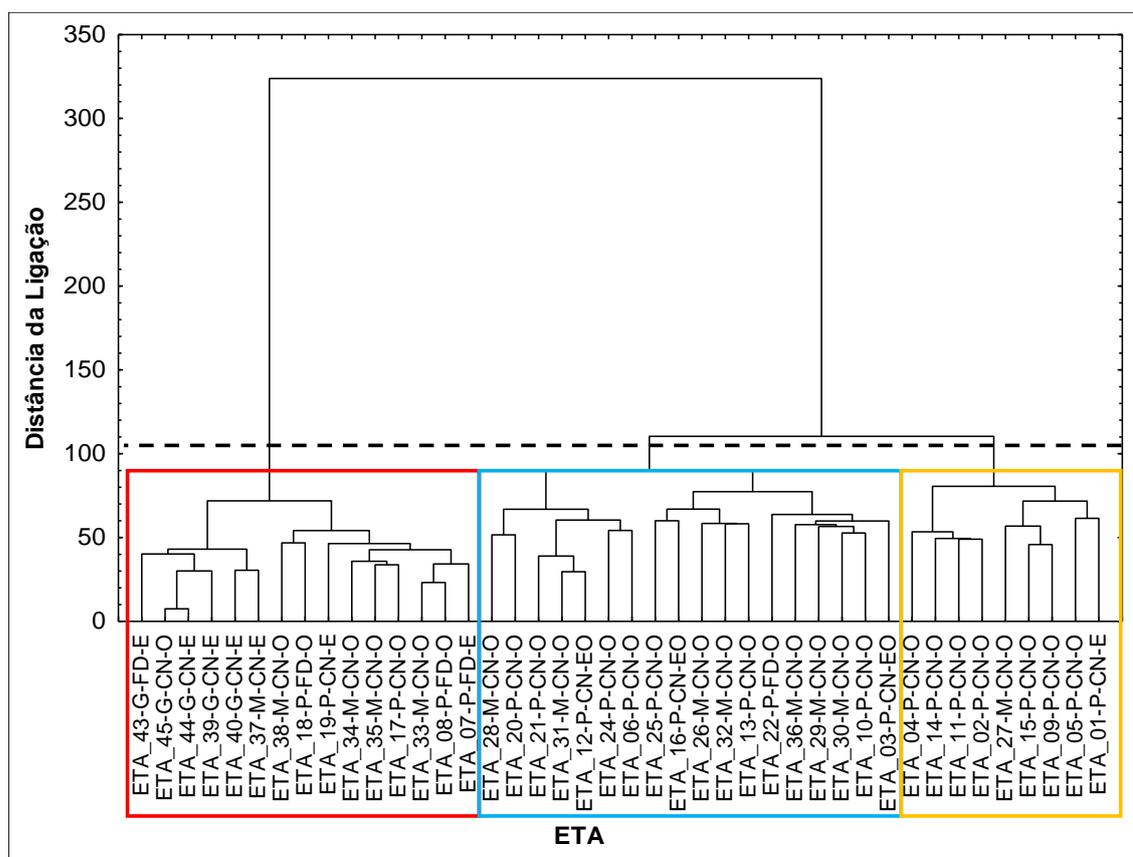
### 6.4.3 Organização do banco de dados para aplicação das análises estatísticas multivariadas

O período de monitoramento de cada estação, compreendido entre 01/12/2013 a 11/12/2016, é comum a todas as ETA e a todos os parâmetros, permitindo assim comparações mais homogêneas e confiáveis entre a qualidade das águas das estações. Os dados referem-se as médias diárias dos parâmetros nas 42 estações, sendo 37 convencionais e 5 de filtração direta.

### 6.4.4 Análise multivariada dos parâmetros da água bruta

Em relação aos dados da água bruta, a distância euclidiana utilizada para a linha de corte foi de 217, a qual foi ajustada para cerca de 100 visando uma melhor distribuição das estações nos agrupamentos formados, conforme apresentado na Figura 6.19. Observa-se que todas as estações convencionais de grande porte ficaram em um mesmo grupo (grupo vermelho), e além disso ficaram próximas demonstrando alta homogeneidade entre si.

**Figura 6.19** – Dendrograma da Análise de Cluster para os parâmetros da água bruta para as ETA convencionais e de filtração direta – Método de Ward



Também é possível observar que o grupo amarelo contém oito estações de pequeno porte e apenas uma de médio porte (ETA\_01-P-CN-E), embora todas elas sejam de tratamento convencional. Já o maior grupo formado (grupo azul), agrupou tanto ETA convencionais de pequeno quanto de médio porte, e apenas uma estação de filtração direta (ETA\_22-P-FD-O). O restante das estações de filtração direta, independente do porte, ficou no grupo vermelho.

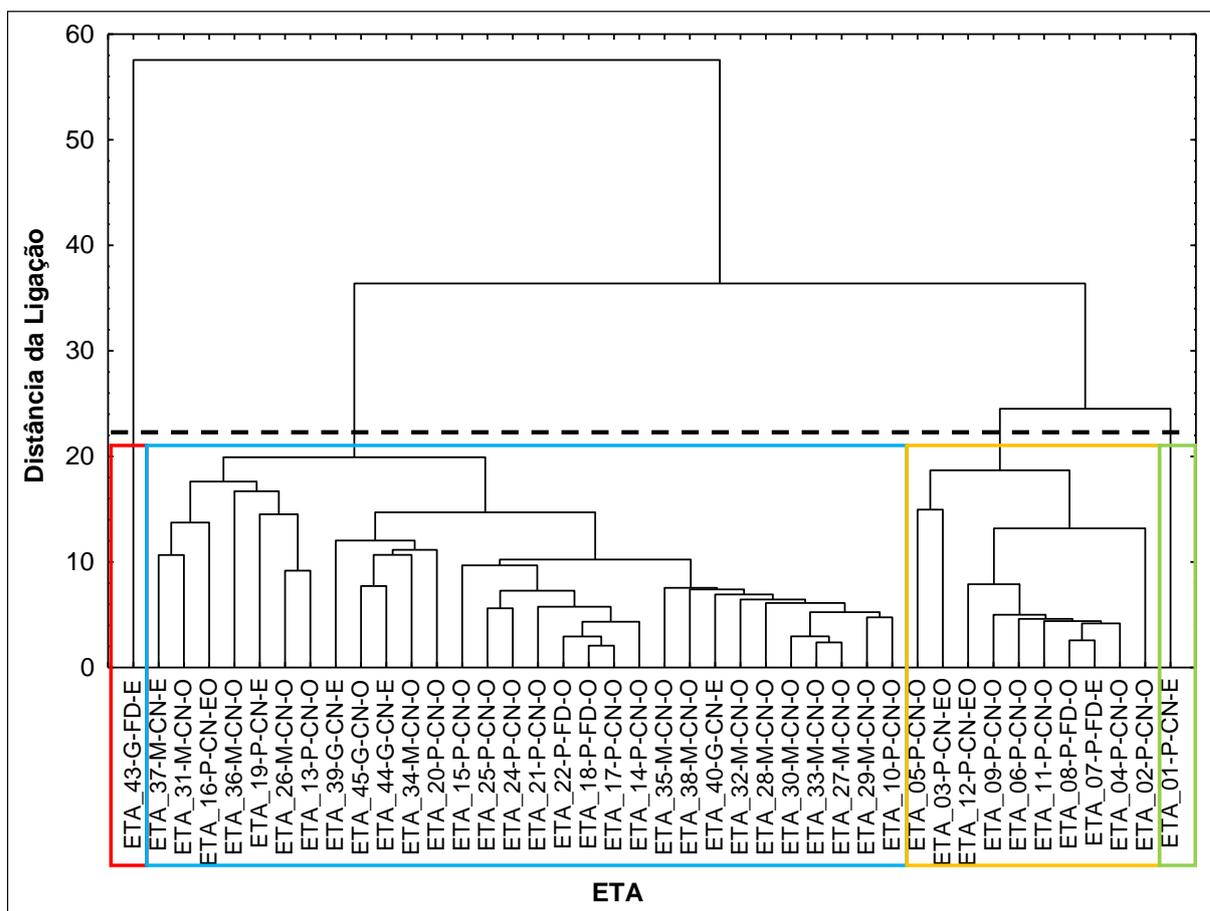
Ressalta-se que todos os grupos formados diferiram significativamente entre si, ao nível de significância de 95% (valor-p do teste de *Kruskal Wallis* < 0,05).

#### 6.4.5 Análise multivariada dos parâmetros da água tratada

Em relação aos dados da água tratada, a distância euclidiana utilizada para a linha de corte foi de 47 a qual foi ajustada para cerca de 22 visando uma melhor distribuição das estações nos agrupamentos formados, conforme apresentado na Figura 6.20. Cabe ressaltar que a menor distância euclidiana (2,07) ocorreu entre as estações ETA\_17-P-CN-O e ETA\_18-P-FD-O, ambas de pequeno porte e com captação em manancial lótico. No entanto, a ETA\_17-P-CN-O

emprega a tecnologia de tratamento convencional enquanto a ETA\_18-P-FD-O emprega a tecnologia de filtração direta, o que denota que independente da tecnologia empregada as ETA produzem água com qualidade similar.

**Figura 6.20** – Dendrograma da Análise de Cluster para os parâmetros da água tratada para as ETA convencionais e de filtração direta – Método de Ward



É possível notar a formação de quatro grupos, um deles composto pela ETA\_43-G-FD-E isolada (grupo vermelho), o outro pela ETA\_01-P-CN-E também isolada (grupo verde). Os outros dois grupos foram formados tanto por estações convencionais quanto por estações de filtração direta, sendo que o grupo azul contém estações dos três portes, enquanto que no grupo amarelo todas as estações são de pequeno porte.

Para os agrupamentos da análise de Cluster considerando os parâmetros da água tratada, todos também apresentaram diferenças significativas entre si, ao nível de significância de 5% (valor-p do teste de *Kruskal Wallis* < 0,05).

## **6.5 Conclusão**

Os resultados das comparações de desempenho das estações agrupadas por características similares indicaram que ETA de porte e manancial semelhantes e que empregam a mesma tecnologia de tratamento (como por exemplo as estações ETA\_03-P-CN-EO e ETA\_16-P-CN-EO) apresentaram desempenhos distintos. Isso indica que fatores operacionais de cada estação de tratamento de água analisada têm grande influência no desempenho das mesmas.

A partir do dendrograma da água bruta gerado na análise de Cluster é possível concluir que os parâmetros da água bruta não influenciaram nos agrupamentos formados em função do manancial de captação, do porte das estações e da tecnologia de tratamento empregada, tendo em vista que não houve um padrão de distribuição. Os três agrupamentos formados apresentaram estações de tratamento de água com mananciais, portes e tecnologias de tratamento distintas. Entretanto, os agrupamentos indicaram que a maioria das estações de filtração direta se uniu no primeiro grupo (vermelho), o que possivelmente demonstra uma similaridade na qualidade da água bruta dessas ETA para definir o emprego desta tecnologia.

Em relação ao dendrograma da água tratada é possível concluir que os parâmetros não influenciaram nos agrupamentos formados em função do manancial, porte e tecnologia de tratamento empregada nas ETA. Sendo assim, a operação da estação de tratamento de água parece influenciar mais na qualidade da água tratada. Considerando a exigência de cumprimento dos padrões de potabilidade esperava-se que as estações apresentassem um agrupamento mais homogêneo, uma vez que todos os valores deveriam convergir para os limites estabelecidos na legislação. No entanto, isso não ocorreu, o que pode ser evidenciado pelo descompasso dos valores dos parâmetros de qualidade da água tratada em relação aos padrões de potabilidade.

## **7 AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO A PADRÕES DE POTABILIDADE PARA A ÁGUA TRATADA**

### **7.1 Introdução**

O controle e o abastecimento de água é um problema mundial, principalmente nos países em desenvolvimento, onde é mais evidente a falta de estruturas apropriadas para lidar com os surtos de doenças transmitidas pela água. Apesar disso, nas últimas décadas têm sido elaboradas diretrizes e normas com padrões mais restritivos voltados para a proteção da saúde da população (CARMONA *et al*, 2015).

Sendo assim, o principal objetivo dos padrões de qualidade para a água potável é a proteção da saúde pública. A qualidade da água definida pelos padrões de potabilidade deve ter adequadas concentrações de produtos químicos e demais componentes, com aspectos estéticos e organolépticos satisfatórios. É importante ressaltar que cuidados devem ser tomados na seleção de substâncias e outros aspectos para o estabelecimento de padrões nacionais de água potável. Muitos fatores devem ser considerados, incluindo os tipos de atividades humanas que ocorrem na região, além de coletas e análises de amostras. O programa de amostragem deve ser projetado para abranger variações aleatórias e sistemáticas da qualidade da água e para garantir que as amostras são representativas da qualidade da água em todo o sistema de distribuição (AIZAWA & MAGARA, 2019).

Neste capítulo, o atendimento aos padrões de potabilidade foi analisado para os parâmetros da água tratada: turbidez, cor aparente, pH, residual de cloro e flúor. Para isso, foram considerados os limites estabelecidos pela Portaria de Potabilidade Brasileira (Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde) (BRASIL, 2017) e pela OMS e USEPA no caso do parâmetro turbidez. Em geral as diretrizes de maior prioridade são aquelas que lidam com contaminantes microbiológicos como bactérias, protozoários e vírus. No entanto, não foi possível analisar tais parâmetros tendo em vista que os mesmos não foram disponibilizados pelos prestadores de serviço.

### **7.2 Objetivo**

Avaliar o atendimento aos padrões de potabilidade e às diretrizes da OMS para a água tratada.

## 7.3 Metodologia

### 7.3.1 Percentual de atendimento aos padrões de potabilidade

Nesta etapa foi verificado o atendimento aos padrões dos cinco parâmetros referentes à Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde. O parâmetro turbidez foi analisado mais detalhadamente, considerando também o atendimento aos padrões da USEPA e as diretrizes da OMS, conforme apresentado na Tabela 7.1.

Salienta-se que a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, leva em conta as metas progressivas estabelecidas por meio do cálculo dos percentuais de atendimento à turbidez. Como o prazo para adoção das metas já foi alcançado, optou-se por chamar todas de “padrões”.

**Tabela 7.1** – Padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, USEPA e diretrizes da OMS

Parâmetro	Portaria nº 5/2017	USEPA	OMS
Turbidez da água filtrada	25 % < 0,5 uT em 2013 <sup>(1)</sup>		
	50 % < 0,5 uT em 2014		
	75 % < 0,5 uT em 2015	95 % < 0,3 uT	
	95 % < 0,5 uT em 2016	Recomendação <0,1	5,0 uT
	Máximo de 1,0 uT <sup>(2)</sup>		
Cloro livre	0,2 mg L <sup>-1</sup> a 2 mg L <sup>-1</sup>	-	-
Cor aparente	15 uH	-	-
Fluoreto	Máximo de 1,5 mg L <sup>-1</sup>	-	-
pH	Entre 6 e 9,5	-	-

<sup>1</sup> A portaria estabelece metas progressivas: 25% no primeiro ano, 50% no segundo ano, 75% no terceiro ano e 95% no quarto ano após a promulgação.

<sup>2</sup> No restante das amostras.

O período de abrangência considerado nesta análise foi de janeiro de 2012 a dezembro de 2016, período comum a todas as estações, a fim de realizar as comparações entre as estações de forma mais concisa.

No entanto, visando complementar o estudo, para o ano 2017 foram realizadas novas coletas de dados referentes ao parâmetro turbidez da água tratada, sendo possível a aquisição de dados de 24 estações. Desta forma, para tais estações a análise de atendimento ao padrão do parâmetro turbidez da água tratada também contemplou o período de janeiro a junho de 2017.

### **7.3.2 Análise multivariada com base nos padrões de atendimento**

Para a realização da análise multivariada foram utilizados como dados de entrada a Tabela 7.2 – Atendimento a padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde. Não foi necessário padronizar os dados uma vez que representam valores percentuais e portanto não apresentam unidades de medidas diferenciadas entre os parâmetros.

As estações foram agrupadas de acordo com a similaridade dos percentuais de atendimento aos padrões de potabilidade água tratada para os parâmetros (turbidez, cor, pH, cloro e flúor) utilizando a análise multivariada de Cluster (AC). Na análise de Cluster foi utilizado o método hierárquico e como algoritmo aglomerativo o Método de Ward, em função do melhor ajuste dos dados a esse tipo de ligação. Como medida de similaridade foi utilizada a distância euclidiana.

Para validação dos agrupamentos formados pela AC, foi realizada a avaliação comparativa dos grupos através do teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas, considerando um nível de significância de 5%.

Ressalta-se que o “software” *XLSTAT* foi utilizado para a execução da análise multivariada descrita.

## **7.4 Resultados e discussões**

### **7.4.1 Percentual de atendimento aos padrões de potabilidade**

A avaliação dos percentuais de atendimento ao padrão de potabilidade brasileiro dos parâmetros: cor aparente, pH, residual de cloro e flúor, considerando o período de 2012 a 2016 é apresentada na Tabela 7.2.

De todos os registros estudados de cor aparente, 99,99% apresentaram-se abaixo do limite (15 uH). Dentre as 45 estações, 32 ETA atingem o 100% de atendimento, sendo que as outras 13 ETA ficam muito próximas desse percentual.

A definição da dosagem de cloro residual frequentemente prende-se ao comprimento e estado de conservação da rede de distribuição, objetivando assegurar concentração residual entre 0,2 e 2,0 mg/L de acordo com a Portaria de Potabilidade Brasileira. Desta forma, pode-se afirmar que nove das 45 ETA estão distantes de atender o padrão estabelecido, o que pode indicar uma má operação destas, uma vez que o cloro é um produto dosado e agregado ao tratamento.

Além disso, concentrações muito superiores às recomendadas na legislação podem estar relacionadas às condições das redes, das quais não se tem conhecimento. A ETA\_12-P-CN-EO registrou a pior situação, com percentual de atendimento de apenas 24%, apresentando valores superiores ao estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde.

Como forma de minimizar a fluorose, a Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde, menciona a concentração máxima de fluoreto no valor de 1,5 mg/L, a qual foi atendida em mais de 96% das estações analisadas (43 ETA), com exceção das estações ETA\_26-M-CN-O e ETA\_41-G-OF-E que atendem em 99,9%.

O parâmetro pH foi 100% atendido em 17 estações, no entanto, nas demais estações o atendimento superou os 99%, com exceção das estações ETA\_10-P-CN-O, ETA\_19-P-CN-E e ETA\_26-M-CN-O que registraram percentual de atendimento ao parâmetro pH de 98,73%, 98,18% e 95,73%, respectivamente. O alto percentual de atendimento a este parâmetro pode ser justificado pela ampla faixa recomendada para o pH da água tratada na Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde, ou seja, de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição.

**Tabela 7.2** – Atendimento a padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde

Parâmetro	Cor	Cloro (mg/L)	Flúor	pH	Turbidez
ETA / Padrão	15 (uH)	0,2 ≥ Cl ≤ 2	1,5 (mg/L)	9,5	(0,5 uT)
ETA_01-P-CN-E	100%	99,37%	100%	99,91%	90,92%
ETA_02-P-CN-O	100%	99,98%	100%	99,69%	89,63%
ETA_03-P-CN-EO	100%	99,83%	100%	99,62%	56,55%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	100%	100%	61,68%
ETA_05-P-CN-O	99,86%	100%	100%	100%	97,38%
ETA_06-P-CN-O	100%	99,91%	100%	99,88%	98,91%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	100%	100%	96,71%
ETA_08-P-FD-O	100%	98,75%	100%	99,99%	99,80%
ETA_09-P-CN-O	100%	99,76%	100%	99,97%	81,98%
ETA_10-P-CN-O	99,98%	92,75%	100%	98,73%	84,13%
ETA_11-P-CN-O	100%	97,01%	100%	100%	99,77%
ETA_12-P-CN-EO	100%	24,04%	100%	99,79%	47,47%
ETA_13-P-CN-O	99,99%	99,99%	100%	100%	86,89%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	100%	100%	81,24%
ETA_15-P-CN-O	99,95%	42,09%	100%	99,86%	32,02%
ETA_16-P-CN-EO	99,99%	100%	100%	99,98%	99,95%
ETA_17-P-CN-O	100%	99,99%	100%	100%	99,14%
ETA_18-P-FD-O	99,99%	99,96%	100%	99,82%	34,21%
ETA_19-P-CN-E	99,97%	69,90%	100%	98,18%	17,54%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	100%	100%	95,04%
ETA_21-P-CN-O	100%	100%	100%	99,99%	10,08%
ETA_22P-FD-O	100%	100%	100%	100%	99,95%
ETA_23-P-DF-E	100%	100%	100%	99,96%	45,87%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	100%	100%	98,02%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	100%	99,95%	95,99%
ETA_26-M-CN-O	99,97%	99,99%	99,89%	95,73%	0,06%
ETA_27-M-CN-O	99,96%	93,65%	100%	99,93%	0,33%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	99,99%	99,89%
ETA_29-M-CN-O	100%	99,89%	100%	99,98%	94,15%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	100%
ETA_31-M-CN-O	99,89%	76,64%	100%	99,91%	75,64%
ETA_32-M-CN-O	100%	99,98%	100%	99,99%	74,46%
ETA_33-M-CN-O	100%	73,67%	100%	99,88%	87,25%
ETA_34-M-CN-O	100%	99,99%	100%	100%	80,05%
ETA_35-M-CN-O	100%	83,81%	100%	99,99%	29,13%
ETA_36-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	31,11%
ETA_37-M-CN-E	100%	92,15%	100%	100%	55,99%
ETA_38-M-CN-O	99,94%	99,99%	100%	100%	92,50%
ETA_39-G-CN-E	100%	99,97%	100%	100%	99,93%
ETA_40-G-CN-E	99,96%	48,59%	100%	99,93%	76,10%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	99,99%	99,96%	99,88%
ETA_42-G-CF-E	100%	75,09%	100%	99,55%	93,31%
ETA_43-G-FD-E	99,99%	97,42%	100%	99,12%	92,61%
ETA_44-G-CN-E	100%	84,45%	100%	99,96%	96,79%
ETA_45-G-CN-O	100%	99,98%	100%	100%	99,34%

Pela inspeção das tabelas apresentadas no Apêndice 4 e o resumo das mesmas (Tabela 7.3), não é possível observar uma evolução ao longo dos anos quanto aos resultados alcançados para a turbidez da água tratada, considerando os padrões analisados. Isso é denotado pelo baixo percentual de ETA que alcançaram os níveis de referência estudados ano a ano.

**Tabela 7.3** – Percentual de ETA que atendem os padrões de turbidez

ANO	Padrões				
	(5 uT)	(1 uT)	(0,5 uT)	(0,3 uT)	(0,1 uT)
2012	90,91	59,09	40,91	13,64	0,00
2013	97,78	53,33	46,67	15,56	0,00
2014	100,00	53,33	40,00	20,00	0,00
2015	100,00	57,78	46,67	15,56	0,00
2016	100,00	53,33	33,33	15,56	0,00
2012 a 2016	97,78	46,67	37,78	15,56	0,00

A diretriz da OMS (5 uT) é um balizador para países menos desenvolvidos e é facilmente atingível no Brasil, tanto que em quase todas as ETA estudadas houve atendimento integral ao padrão. Para o padrão de 1 uT observa-se que em todos os anos o percentual de atendimento foi inferior a 60%, o que demonstra uma situação preocupante, considerando ser um padrão ainda pouco restritivo que não garante condições sanitárias adequadas ao consumidor. Este padrão (1 uT) apesar de ainda ser pouco restritivo é considerado na Diretiva 98/83/CE do Conselho de 3 de Novembro de 1998 relativo à qualidade da água destinada ao consumo humano (UNIÃO EUROPEIA, 1998).

É importante salientar que o atendimento ao padrão de potabilidade brasileiro de 0,5 uT com frequência de 95% foi atingido por no máximo 46% das estações. Cabe destacar que o ano de 2016 teve o pior percentual de atendimento à turbidez, o que pode estar relacionado a condições climáticas locais do período estudado.

O padrão de 0,3 uT da USEPA mostrou-se inatingível para as ETA brasileiras, já que nos cinco anos estudados, no máximo 20% delas atenderiam o limite. Já o padrão de 0,1 uT não foi atingido por nenhuma das estações de tratamento de água analisadas, indicando a incapacidade de tais estações atenderem padrões mais restritivos que garantem a saúde da população abastecida. Geralmente esse nível de tratamento somente é alcançado em estações completamente automatizadas de países desenvolvidos, que possuem o monitoramento contínuo de todas as etapas, ou por tecnologias de tratamento avançadas. Ressalta-se que o

padrão de 0,1 uT, também é aplicado no Canadá, porém somente para a tecnologia de tratamento por membrana (HEALTH CANADA, 2017).

A inspeção dos dados do Apêndice 4 demonstra que considerando o período completo de estudo dos dados, conforme já descrito no item 6.2, 11 das 25 estações de pequeno porte atendem ao padrão da Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde (95% menor que 0,5 uT); quatro das sete ETA de grande porte atendem e somente duas estações das 13 de médio porte atendem ao referido padrão. É possível verificar que a ETA\_43-G-FD-E possui um desempenho insatisfatório, uma vez que não atinge nenhum dos padrões-referência, provavelmente decorrente de problemas operacionais relacionados à má qualificação da mão-de-obra. Além disso, as estações ETA\_26-M-CN-O e ETA\_27-M-CN-O, com exceção do limite de 5,0 uT da OMS, registraram os piores percentuais de atendimento para os demais padrões (apenas 13 % e 31%, respectivamente, para o padrão de 1,0 uT) e atendimento nulo para os demais padrões (0,5 uT, 0,3 uT e 0,1 uT).

O descompasso entre a legislação e a qualidade do tratamento de água nas ETA estudadas também é evidenciado na Tabela 7.4, visto que mesmo nos anos em que as metas eram menos restritivas (25% de atendimento), cerca de 15% das estações não atenderam o padrão de potabilidade de 0,5 uT. Apenas 73% das estações atingiram a meta de 50% em 2014, 69% atingiram a meta de 75% em 2015 e 33% das ETA atingiram a meta de 95% em 2016. Desta forma, é possível observar que a restrição da lei não afetou a melhoria do desempenho das estações no que diz respeito ao atendimento do padrão de potabilidade.

**Tabela 7.4** – Número de ETA que atendem as metas progressivas da Portaria de Consolidação nº 5 /2017, do Ministério da Saúde para a turbidez

<b>% de atendimento à meta de 0,5 uT</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Atenderam	38	37	33	31	15
Não atenderam	7	8	12	14	30

Comparando-se o desempenho das estações em relação ao cumprimento do padrão de potabilidade brasileiro para turbidez da água tratada no ano de 2016, observa-se na Tabela 7.5 o desempenho também insatisfatório de algumas ETA no período de janeiro a junho do ano de 2017, embora tenha sido melhor que no ano anterior. Em 2017, apenas 50% das estações (12 estações das 24 analisadas) cumpriram o padrão (95% < 0,5 uT).

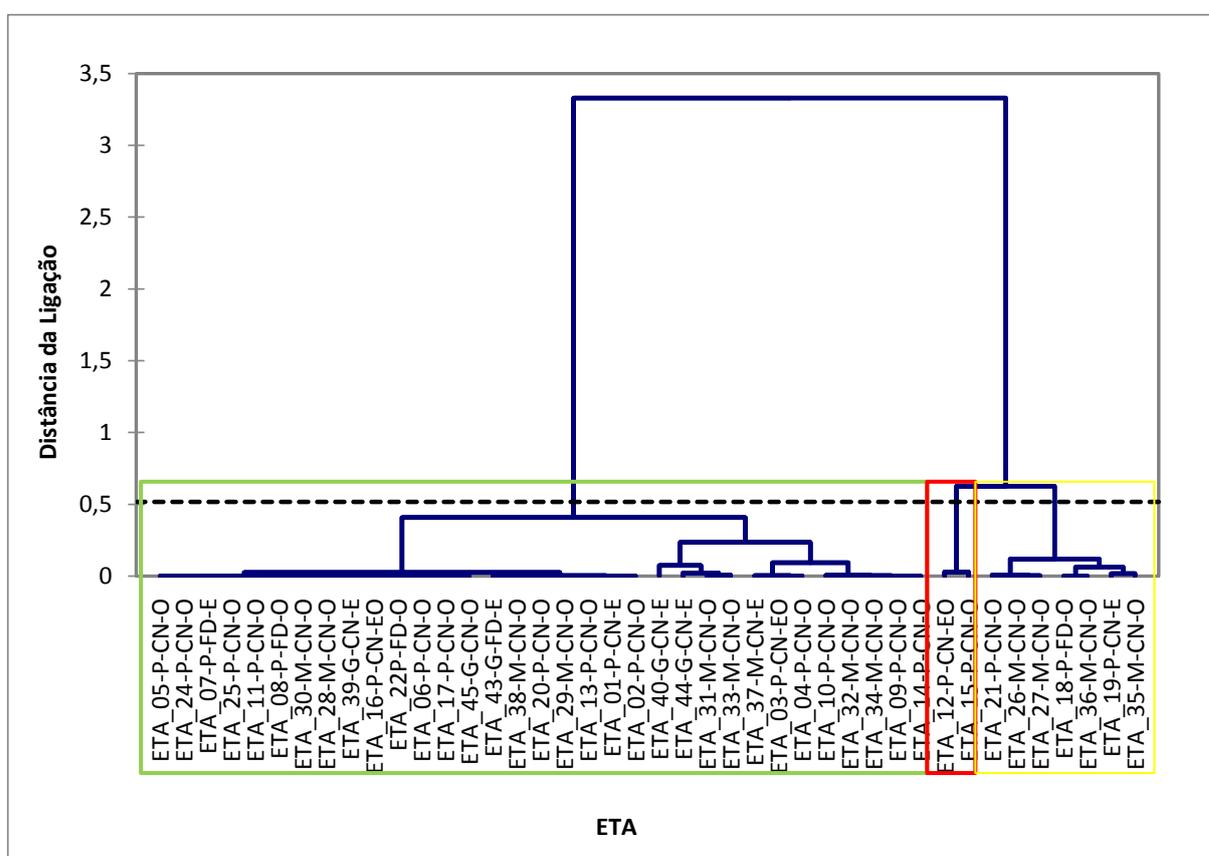
**Tabela 7.5 – Atendimento a padrões de turbidez no ano de 2017**

<b>ETA / Padrão</b>	<b>5 uT</b>	<b>1 uT</b>	<b>0,5 uT</b>	<b>0,3 uT</b>	<b>0,1 uT</b>
ETA_01-P-CN-E	100%	99%	94%	8%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	86%	3%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	68%	6%	0%	0%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	50%	0%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	100%	99%	0%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	100%	86%	0%
ETA_07-P-FD-E	-	-	-	-	-
ETA_08-P-FD-O	-	-	-	-	-
ETA_09-P-CN-O	100%	100%	83%	79%	0%
ETA_10-P-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	96%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	100%	64%	4%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	98%	86%	30%	0%
ETA_14-P-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_15-P-CN-O	100%	74%	4%	0%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	87%	0%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	100%	93%	0%
ETA_18-P-FD-O	-	-	-	-	-
ETA_19-P-CN-E	-	-	-	-	-
ETA_20-P-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_21-P-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_22-P-FD-O	-	-	-	-	-
ETA_23-P-DF-E	-	-	-	-	-
ETA_24-P-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	94%	56%	0%
ETA_26-M-CN-O	100%	5%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	100%	5%	0%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_29-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_30-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_31-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_32-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_33-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_34-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_35-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_36-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_37-M-CN-E	100%	100%	95%	61%	0%
ETA_38-M-CN-O	-	-	-	-	-
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	96%	0%
ETA_40-G-CN-E	100%	100%	99%	87%	0%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	100%	100%	1%
ETA_42-G-CF-E	100%	100%	98%	88%	5%
ETA_43-G-FD-E	100%	91%	30%	22%	0%
ETA_44-G-CN-E	100%	100%	100%	98%	19%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	100%	99%	2%

## 7.4.2 Análise multivariada com base nos padrões de atendimento

Em relação aos dados referentes ao atendimento dos padrões, a distância euclidiana utilizada para a linha de corte foi de 0,5, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Cabe ressaltar que a menor distância euclidiana (0,0002119) ocorreu entre as estações (ETA\_16-P-CN-E e ETA\_22-P-FD-O), ambas de pequeno porte mas com tecnologias e ambientes de captação diferentes.

**Figura 7.1** – Dendrograma da Análise de Cluster para os parâmetros da água tratada para as ETA convencionais e de filtração direta – Método de Ward



É possível observar a formação de três grupos. O maior deles (grupo verde) é composto por 33 estações, sendo que as mesmas apresentaram, no geral, os melhores percentuais de atendimento dos parâmetros avaliados. O grupo amarelo uniu sete ETA que apresentaram baixo percentual de atendimento ao padrão de turbidez (abaixo de 35%), conforme apresentado na Tabela 7.2. O menor grupo (vermelho) formado por apenas duas estações, ETA\_12-P-CN-EO e ETA\_15-P-CN-O, apresentou baixos percentuais de atendimento tanto para o parâmetro cloro quanto para a turbidez, inferiores a 50%.

## **7.5 Conclusão**

Em relação ao atendimento a padrões de potabilidade, é possível concluir que para os parâmetros cor aparente, pH, cloro e flúor, no geral, as estações mostraram um bom desempenho, com percentual de atendimento próximo a 100% para a maioria das ETA analisadas.

Já para o parâmetro turbidez, as estações mostraram um descompasso em relação ao atendimento dos padrões, com exceção do limite menos restritivo da OMS de 5,0 uT, o qual a maioria das ETA atendeu integralmente. À medida que os padrões analisados se tornam mais restritivos, ocorre uma queda no percentual de atendimento, com menos de 40% das estações analisadas atendendo o padrão de potabilidade brasileiro ( $95\% < 0,5 \text{ uT}$ ) no período completo estudado. A situação torna-se mais crítica ao se considerar padrões mais rígidos já atingidos em países desenvolvidos, como o limite recomendado pela USEPA de 0,1 uT, o qual não foi atendido por nenhuma estação. Isso denota a necessidade de melhoria das condições construtivas e operacionais das estações de tratamento de água analisadas, em função do risco que o desempenho insatisfatório das mesmas representam para a saúde da população abastecida, caso os padrões de potabilidade não sejam integralmente atendidos.

Os agrupamentos formados pela análise de Cluster usando como dados de entrada os percentuais de atendimento aos padrões de potabilidade brasileiros apresentaram coerência, tendo em vista que as estações com piores desempenho em relação ao atendimento formaram dois grupos distintos em relação ao agrupamento maior (com ETA com melhor desempenho).

## 8 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

### 8.1 Introdução

A confiabilidade de um sistema ou processo pode ser definida como a probabilidade de se conseguir um desempenho adequado por um período específico de tempo e em determinadas condições. Considerando o desempenho de uma estação de tratamento, a confiabilidade pode ser entendida como a porcentagem de tempo em que se conseguem valores esperados na água tratada para cumprir com os padrões de potabilidade. Assim, uma ETA será completamente confiável se não houver falha no desempenho, ou seja, se não houver violação aos limites preconizados pelas legislações ambientais. A falha no processo de tratamento ocorrerá sempre que o padrão de lançamento for excedido.

Para determinar o valor médio de um constituinte que garanta que o valor efluente esteja abaixo de determinado padrão, durante certo período de tempo, Niku *et al.* (1979) desenvolveram um método que relaciona o valor médio do parâmetro ao padrão, baseado em análise probabilística. Esse método já é consolidado para avaliar o desempenho de estações de tratamento de esgotos, tendo sido publicados inúmeros trabalhos nas últimas décadas (NIKU *et al.*, 1981, 1982; NIKU & SCHROEDER, 1981; METCALF & EDDY, 2003; OLIVEIRA, 2006; OLIVEIRA & VON SPERLING, 2007a; 2007b; 2008; MESSAOUD *et al.*, 2013; ALDERSON *et al.*, 2015; KHUDAIR & JASIM, 2017; KARAMOUZ *et al.*, 2017; PADALKAR & KUMAR, 2018). No entanto, na área de tratamento de água, poucos trabalhos utilizaram o modelo de confiabilidade (VENTURA *et al.*, 2014) e, mesmo nestes casos, utilizando um pequeno número de dados e de estações.

Neste capítulo três abordagens são empregadas; (1) análise das estações individualmente, (2) análise das ETA agrupadas por tecnologia de tratamento, e (3) análise das ETA agrupadas por porte. Destaca-se que as tecnologias utilizadas na segunda abordagem são apenas a convencional e a filtração direta, pois o número de ETA contido em cada tipo de tecnologia de tratamento teve grande variabilidade, sendo que algumas tecnologias de tratamento foram representadas por apenas uma estação. O modelo de confiabilidade será aplicado aos dados operacionais dos anos de 2012 a 2015 e os dados de 2016 serão utilizados para validação dos resultados.

As seguintes etapas fazem parte de cada uma das três abordagens e foram descritas na metodologia: (i) cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC) para todas as estações analisadas; (ii) cálculo dos valores médios de turbidez de água tratada necessários para alcance dos padrões estabelecidos e (iii) cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões.

Os padrões considerados no estudo são aqueles estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, USEPA e diretriz da OMS para turbidez, ou seja, 0,1; 0,3, 0,5, 1,0 e 5,0 uT.

## **8.2 Objetivo**

Realizar a análise de confiabilidade das estações.

## **8.3 Metodologia**

### **8.3.1 Verificação da aderência dos dados à distribuição lognormal**

O teste de aderência do Qui-Quadrado foi empregado, ao nível de significância de 5%, para verificar se a distribuição lognormal pode ser adotada para descrever o comportamento dos dados de turbidez e cor aparente das estações, uma vez que o estudo de confiabilidade foi desenvolvido para dados distribuídos segundo um modelo lognormal. O *software* utilizado foi o XLSTAT. Considerando que os dados de cor aparente da água tratada apresentaram um comportamento muito distante do esperado para uma distribuição lognormal, conforme será apresentado no item 7.3.1, as demais etapas do estudo de confiabilidade não puderam ser desenvolvidas para este parâmetro. Sendo assim, optou-se por aplicar o modelo de confiabilidade apenas aos dados de turbidez.

### **8.3.2 Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC)**

O coeficiente de confiabilidade (CDC) foi calculado segundo a equação 7.1, detalhadamente descrita em Oliveira (2006):

$$CDC = \sqrt{CV^2 + 1} \times \exp \left[ -Z_{1-\alpha} \sqrt{\ln(CV^2 + 1)} \right] \quad (7.1)$$

Onde

CV = coeficiente de variação (desvio padrão dividido pela média do constituinte).

$\alpha$  = probabilidade de falha de atingir o padrão.

$Z_{1-\alpha}$  = variável normal reduzida (obtida de tabelas de distribuição normal padronizada).

O CDC (equação 7.1) relaciona o valor médio do constituinte,  $\mu_x$ , ao padrão  $X_s$  para um nível de confiabilidade de  $1 - \alpha$ .

Alguns valores selecionados da probabilidade  $1-\alpha$  e os percentis  $Z_{1-\alpha}$ , associados são apresentados na Tabela 8.1.

**Tabela 8.1 – Valores de distribuição normal padronizada**

Probabilidade Cumulativa ( $1 - \alpha$ ) = confiabilidade	$Z_{1-\alpha}$
99	2.326
98	2.054
95	1.645
90	1.282
80	0.842
70	0.525
60	0.253
50	0.000

Foram calculados os valores dos coeficientes de confiabilidade (CDC) para todas as ETA analisadas e, com os resultados obtidos, foi possível determinar os valores de turbidez da água tratada necessários para o alcance dos vários padrões especificados. Como nas outras análises propostas, os valores dos coeficientes de confiabilidade (CDC) das estações foram calculados em função da tecnologia de tratamento e do porte.

### **8.3.3 Cálculo dos valores médios necessários de turbidez e cor aparente da água tratada para alcance dos padrões de potabilidade**

O coeficiente de confiabilidade relaciona valores médios de constituintes da água tratada ao padrão a ser alcançado, em uma base probabilística. Se, por exemplo, um padrão de turbidez de 5,0 uT deve ser cumprido em 90% do tempo, o processo deve alcançar um valor médio de turbidez de água tratada tal que, mesmo com a variabilidade presente, este percentual seja alcançado. O valor médio do constituinte,  $\mu_x$ , poderá ser obtido a partir da equação:

$$\mu_x = (\text{CDC}) X_s \quad (7.2)$$

Onde

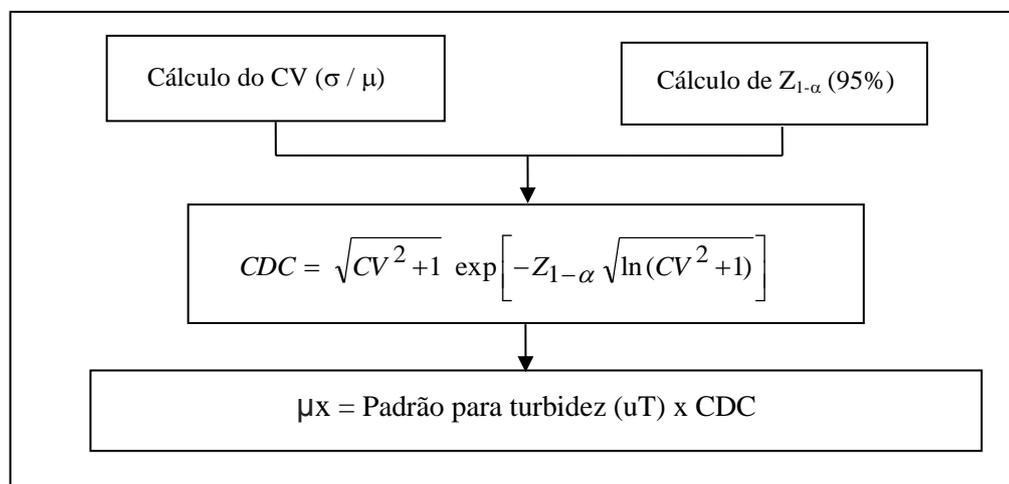
$\mu_x$  = valor médio do constituinte;

$X_s$  = meta de qualidade ou padrão fixado por alguma legislação ou norma;

CDC = coeficiente de confiabilidade.

A determinação dos valores médios de turbidez a serem alcançados na operação, seguiu os passos descritos no fluxograma apresentado na Figura 8.1.

**Figura 8.1** – Etapas para cálculo dos valores de turbidez para alcance dos padrões de potabilidade



Fonte: adaptado de Oliveira (2006)

Foram calculados os valores médios dos parâmetros para todas as ETA, também considerando a tecnologia de tratamento e o porte.

### 8.3.4 Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões

Após o cálculo dos valores médios da turbidez da água tratada e dos coeficientes de variação de todas as ETA, foi calculado o percentual esperado de atendimento aos padrões de potabilidade adotados neste estudo. Para isto foi utilizada a equação 7.2 para os valores de  $\mu_x$  ( $1-\alpha$ ) resultantes e foram obtidos os valores correspondentes à probabilidade cumulativa da distribuição normal padronizada (distribuição Z). Estes valores foram determinados por meio da função DIST.NORMP do Excel, mas são encontrados em livros texto de estatística (SNEDECOR & COCHRAN, 1989, SPIEGEL, 1994, LAPPONI, 2005). Estes valores, correspondentes à área subentendida pela curva normal central reduzida, são equivalentes ao percentual de atendimento esperado.

$$Z_{1-\alpha} = \frac{\ln X_s - \left[ \ln \mu_x - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2_x) \right]}{\sqrt{\ln(1 + CV^2_x)}} \quad (7.3)$$

Por exemplo, caso uma determinada ETA tenha média  $\mu = 0,19$  uT e  $CV = 2,42$ , o percentual de atendimento esperado para um padrão de potabilidade para turbidez de 0,5 uT será calculado:

$$Z_{1-\alpha} = \frac{\ln(0,5) - \left[ \ln(0,19) - \frac{1}{2} \ln(1 + 2,42^2) \right]}{\sqrt{\ln(1 + 2,42^2)}} = 1,391 \quad (7.4)$$

Pela Tabela 8.1 de variável normal padronizada ou utilizando a função do Excel DIST.NORMP.N ( $Z_{1-\alpha}$ ; VERDADEIRO), para  $Z_{1-\alpha} = 1,391$ , o valor correspondente será 0,92. Isto significa que, para esta estação, o percentual de atendimento esperado para este padrão de potabilidade específico será de 92%, se a ETA mantiver as mesmas condições de operação.

Também nesta etapa, foram calculados os percentuais de atendimento esperado para todas as ETA, considerando a tecnologia de tratamento e o porte.

Por fim, a etapa de validação do modelo de confiabilidade consistiu da comparação entre os percentuais de atendimento esperado, considerando os dados 2012 a 2015, e os percentuais de atendimentos efetivamente obtidos pelas ETA no ano de 2016.

Sempre que estações foram comparadas, seja por tecnologia de tratamento ou porte, testes estatísticos não paramétricos de hipóteses foram aplicados, ao nível de significância de 5%. Quando o objetivo era comparar dois grupos independentes, foi aplicado o teste de *Mann-Whitney*. Já para comparação de três ou mais grupos, utilizou-se o teste de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas, caso o anterior indicasse diferenças significativas.

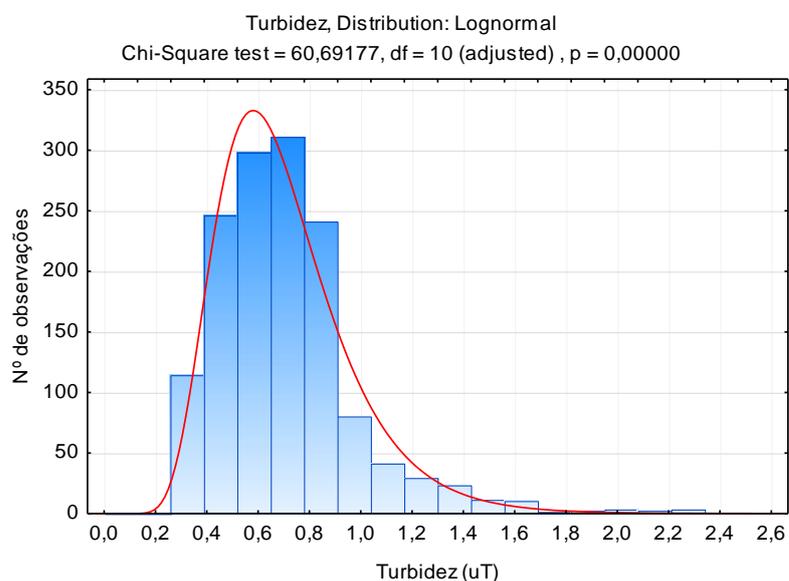
## **8.4 Resultados e discussões**

### **8.4.1 Verificação da aderência dos dados à distribuição lognormal**

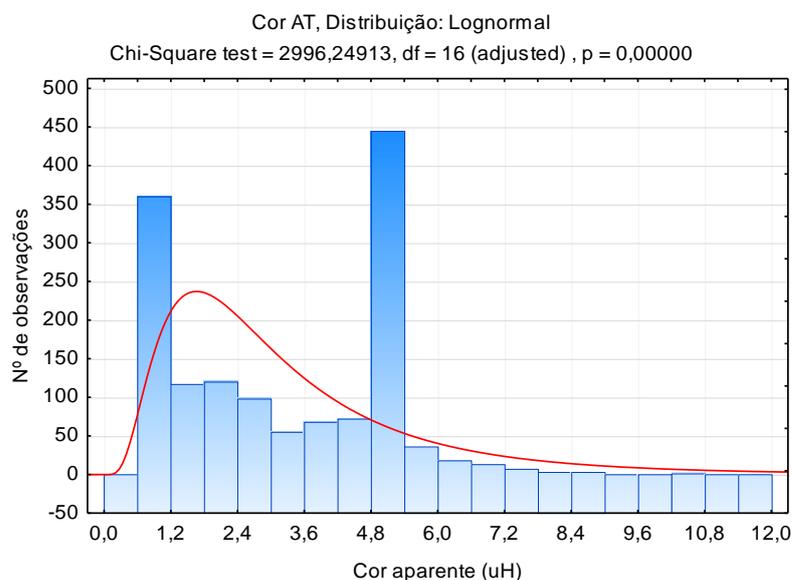
A caracterização das distribuições de probabilidade dos parâmetros turbidez e cor aparente da água tratada mostrou que a distribuição lognormal não pode ser adotada para descrever o comportamento da maioria dos dados disponibilizados pelas ETA (valor-p do teste Qui-Quadrado = 0), conforme exemplificado nas Figuras 8.2 e 8.3, para a ETA\_15-P-CN-O. No entanto, os dados de turbidez apresentaram um comportamento assimétrico à direita, em quase todos os casos, bastante similar ao apresentado por aqueles que se ajustam a uma distribuição lognormal. Os dados de cor aparente da água tratada mostraram um comportamento muito distante do esperado para uma distribuição lognormal e, mesmo quando as observações foram analisadas por ano, era possível perceber uma distribuição multimodal. Além disto, como já apresentado em capítulos anteriores, todos os dados de cor aparente apresentaram valores abaixo do limite (15 uH) estabelecido pelas legislações analisadas, evidenciando a robustez das estações em atender aos padrões. Diante disto,

conforme já relatado, optou-se por aplicar o modelo de confiabilidade, desenvolvido e descrito por Niku *et al.* (1979) apenas aos dados de turbidez.

**Figura 8.2** – Distribuição dos dados de turbidez da água tratada da ETA\_15-P-CN-O



**Figura 8.3** – Distribuição dos dados de cor aparente da água tratada da ETA\_15-P-CN-O



## 8.4.2 Análise das estações de tratamento de água individualmente

### 8.4.2.1 Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC)

A análise considerou as 45 estações de tratamento de água e os valores dos coeficientes de confiabilidade (CDC) foram calculados para o parâmetro turbidez da água tratada (para um

nível de confiabilidade de 95%), considerando os coeficientes de variação (CV) efetivamente apresentados pelas ETA em operação.

Os valores dos coeficientes são apresentados na Tabela 8.2. É possível perceber o comportamento inverso dos dois coeficientes, ou seja, quanto maior o coeficiente de variação, menor o coeficiente de confiabilidade, já que a estação apresenta um processo mais variável e, portanto, mais instável, conforme discutido por Oliveira & von Sperling (2008).

Percebe-se que foi grande a variabilidade dos coeficientes de variação e de confiabilidade, ficando evidenciados, também, os maiores CV e os consequentes menores valores de CDC apresentados pelas ETA\_09-P-CN-O, ETA\_28-M-CN-O e ETA\_43-G-FD-E. Desta forma, o porte não parece ter tido uma influência tão expressiva na confiabilidade das estações já que essas três ETA são de portes distintos. Já os maiores coeficientes de confiabilidade foram apresentados por uma estação de médio porte (ETA\_30-M-CN-O) e duas estações de pequeno porte (ETA\_08-P-FD-O e ETA\_24-P-CN-O).

Segundo Oliveira (2006), deve-se ressaltar que baixos valores de CV e, conseqüentemente, altos valores de CDC, não implicam em bons desempenhos, mas apenas uma condição mais estável de operação. Pequenos valores de coeficientes de confiabilidade implicam em menores valores médios de turbidez da água tratada que são necessários para o cumprimento de padrões de potabilidade.

**Tabela 8.2** – Valores dos coeficientes de variação e de confiabilidade do parâmetro turbidez da água tratada para o nível de confiabilidade ( $1 - \alpha$ ) de 95%

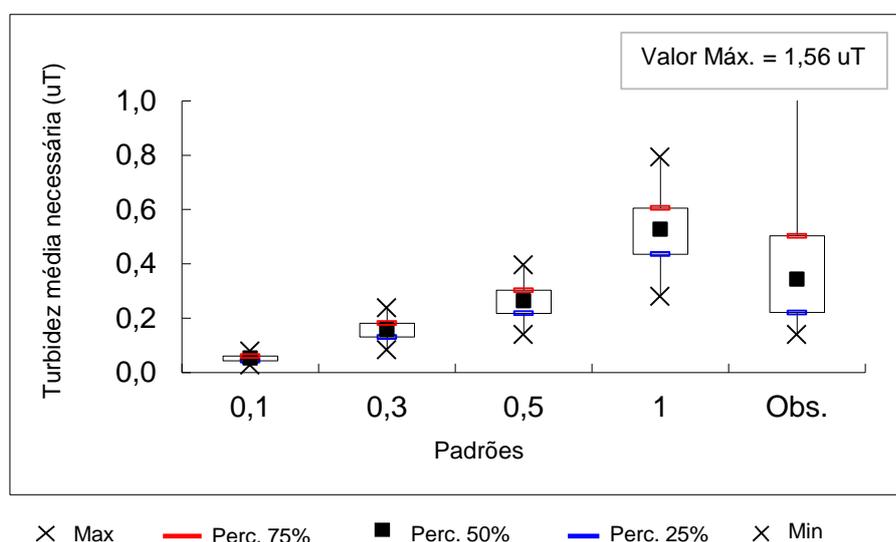
ETA	Turbidez média AT (uT)	Desvio Padrão (uT)	CV	CDC
ETA_01-P-CN-E	0,34	0,16	0,48	0,53
ETA_02-P-CN-O	0,39	0,13	0,32	0,63
ETA_03-P-CN-EO	0,59	0,41	0,69	0,44
ETA_04-P-CN-O	0,5	0,18	0,35	0,61
ETA_05-P-CN-O	0,34	0,15	0,44	0,55
ETA_06-P-CN-O	0,21	0,16	0,77	0,41
ETA_07-P-FD-E	0,31	0,10	0,32	0,63
ETA_08-P-FD-O	0,21	0,04	0,19	0,75
ETA_09-P-CN-O	0,27	0,40	1,46	0,31
ETA_10-P-CN-O	0,39	0,24	0,62	0,46
ETA_11-P-CN-O	0,22	0,09	0,43	0,55
ETA_12-P-CN-EO	0,58	0,23	0,39	0,58
ETA_13-P-CN-O	0,4	0,23	0,59	0,47
ETA_14-P-CN-O	0,4	0,13	0,33	0,62
ETA_15-P-CN-O	0,7	0,32	0,46	0,54
ETA_16-P-CN-EO	0,14	0,05	0,39	0,58
ETA_17-P-CN-O	0,22	0,08	0,35	0,61
ETA_18-P-FD-O	0,85	0,70	0,83	0,39
ETA_19-P-CN-E	0,84	0,43	0,51	0,51
ETA_20-P-CN-O	0,22	0,13	0,58	0,48
ETA_21-P-CN-O	0,75	0,20	0,27	0,67
ETA_22-P-FD-O	0,19	0,09	0,45	0,54
ETA_23-P-DF-E	0,65	0,46	0,70	0,43
ETA_24-P-CN-O	0,36	0,08	0,21	0,73
ETA_25-P-CN-O	0,26	0,09	0,37	0,59
ETA_26-M-CN-O	1,31	0,40	0,31	0,64
ETA_27-M-CN-O	1,56	0,78	0,50	0,51
ETA_28-M-CN-O	0,2	0,22	1,09	0,34
ETA_29-M-CN-O	0,3	0,20	0,68	0,44
ETA_30-M-CN-O	0,22	0,03	0,15	0,79
ETA_31-M-CN-O	0,43	0,44	1,01	0,36
ETA_32-M-CN-O	0,46	0,29	0,63	0,46
ETA_33-M-CN-O	0,3	0,23	0,75	0,42
ETA_34-M-CN-O	0,35	0,28	0,80	0,40
ETA_35-M-CN-O	0,67	0,31	0,47	0,53
ETA_36-M-CN-O	0,67	0,19	0,29	0,65
ETA_37-M-CN-E	0,48	0,17	0,36	0,60
ETA_38-M-CN-O	0,29	0,18	0,65	0,45
ETA_39-G-CN-E	0,19	0,09	0,47	0,53
ETA_40-G-CN-E	0,43	0,41	0,97	0,37
ETA_41-G-OF-E	0,19	0,06	0,32	0,63
ETA_42-G-CF-E	0,25	0,13	0,53	0,50
ETA_43-G-FD-E	0,29	0,56	1,92	0,28
ETA_44-G-CN-E	0,18	0,13	0,74	0,42
ETA_45-G-CN-O	0,2	0,11	0,56	0,48

#### 8.4.2.2 Cálculo dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de potabilidade

A Figura 8.4 mostra o gráfico *box-whisker* dos valores médios necessários para alcance dos diferentes padrões analisados, considerando os CDC calculados, e as médias efetivamente observadas nos dados das estações. Para o padrão de 5,0 uT todas as estações apresentaram valores observados inferiores aos necessários. Desta forma optou-se por elaborar o gráfico excluindo o limite da OMS, o que facilitou a visualização do comportamento das estações.

Observa-se a dificuldade das estações em alcançarem padrões mais restritivos, como 0,1, 0,3 e 0,5 uT, com os valores médios de turbidez da água tratada que vêm apresentando.

**Figura 8.4** – Valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões e as médias efetivamente observadas nas estações ( $1 - \alpha = 95\%$ )



Na Tabela 8.3 observa-se que os menores valores médios necessários para alcance dos diversos padrões foram observados para as ETA\_09-P-CN-O, ETA\_28-M-CN-O e ETA\_43-G-FD-E, em função dos maiores CV apresentados pelas mesmas. Nota-se que os valores médios necessários são inversamente proporcionais aos valores de CV apresentados pelas ETA. Assim ETA mais instáveis (maiores CV) devem apresentar menores valores médios de turbidez do que as mais estáveis (menores CV), a fim de garantir que 95% dos seus resultados atendam determinado padrão de potabilidade.

**Tabela 8.3** – Valores médios de turbidez da água tratada (AT), necessários para alcance dos padrões estabelecidos ( $1 - \alpha = 95\%$ )

ETA	Turbidez média AT (uT)	CV	CDC	Padrões estabelecidos para turbidez (uT) pela Consolidação nº 5 /2017, USEPA e diretriz da OMS				
				0,1	0,3	0,5	1,0	5,0
ETA_01-P-CN-E	0,34	0,48	0,53	0,05	0,16	0,26	0,53	2,64
ETA_02-P-CN-O	0,39	0,32	0,63	0,06	0,19	0,31	0,63	3,15
ETA_03-P-CN-O	0,59	0,69	0,44	0,04	0,13	0,22	0,44	2,18
ETA_04-P-CN-O	0,5	0,35	0,61	0,06	0,18	0,30	0,61	3,03
ETA_05-P-CN-O	0,34	0,44	0,55	0,06	0,16	0,27	0,55	2,73
ETA_06-P-CN-O	0,21	0,77	0,41	0,04	0,12	0,21	0,41	2,06
ETA_07-P-FD-E	0,31	0,32	0,63	0,06	0,19	0,32	0,63	3,15
ETA_08-P-FD-O	0,21	0,19	0,75	0,08	0,23	0,38	0,75	3,75
ETA_09-P-CN-O	0,27	1,46	0,31	0,03	0,09	0,15	0,31	1,53
ETA_10-P-CN-O	0,39	0,62	0,46	0,05	0,14	0,23	0,46	2,30
ETA_11-P-CN-O	0,22	0,43	0,55	0,06	0,17	0,28	0,55	2,76
ETA_12-P-CN-EO	0,58	0,39	0,58	0,06	0,17	0,29	0,58	2,88
ETA_13-P-CN-O	0,4	0,59	0,47	0,05	0,14	0,24	0,47	2,37
ETA_14-P-CN-O	0,4	0,33	0,62	0,06	0,19	0,31	0,62	3,09
ETA_15-P-CN-O	0,7	0,46	0,54	0,05	0,16	0,27	0,54	2,69
ETA_16-P-CN-EO	0,14	0,39	0,58	0,06	0,17	0,29	0,58	2,89
ETA_17-P-CN-O	0,22	0,35	0,61	0,06	0,18	0,30	0,61	3,04
ETA_18-P-FD-O	0,85	0,83	0,39	0,04	0,12	0,20	0,39	1,97
ETA_19-P-CN-E	0,84	0,51	0,51	0,05	0,15	0,25	0,51	2,54
ETA_20-P-CN-O	0,22	0,58	0,48	0,05	0,14	0,24	0,48	2,39
ETA_21-P-CN-O	0,75	0,27	0,67	0,07	0,20	0,33	0,67	3,33
ETA_22-P-FD-O	0,19	0,45	0,54	0,05	0,16	0,27	0,54	2,71
ETA_23-P-DF-E	0,65	0,7	0,43	0,04	0,13	0,22	0,43	2,16
ETA_24-P-CN-O	0,36	0,21	0,73	0,07	0,22	0,36	0,73	3,64
ETA_25-P-CN-O	0,26	0,37	0,59	0,06	0,18	0,30	0,59	2,97
ETA_26-M-CN-O	1,31	0,31	0,64	0,06	0,19	0,32	0,64	3,18
ETA_27-M-CN-O	1,56	0,5	0,51	0,05	0,15	0,26	0,51	2,56
ETA_28-M-CN-O	0,2	1,09	0,34	0,03	0,10	0,17	0,35	1,73
ETA_29-M-CN-O	0,3	0,68	0,44	0,04	0,13	0,22	0,44	2,19
ETA_30-M-CN-O	0,22	0,15	0,79	0,08	0,24	0,40	0,79	3,96
ETA_31-M-CN-O	0,43	1,01	0,36	0,04	0,11	0,18	0,36	1,79
ETA_32-M-CN-O	0,46	0,63	0,46	0,05	0,14	0,23	0,46	2,28
ETA_33-M-CN-O	0,3	0,75	0,42	0,04	0,13	0,21	0,42	2,09
ETA_34-M-CN-O	0,35	0,8	0,4	0,04	0,12	0,20	0,40	2,02
ETA_35-M-CN-O	0,67	0,47	0,53	0,05	0,16	0,26	0,53	2,64
ETA_36-M-CN-O	0,67	0,29	0,65	0,07	0,20	0,33	0,65	3,26
ETA_37-M-CN-E	0,48	0,36	0,6	0,06	0,18	0,30	0,60	2,99
ETA_38-M-CN-O	0,29	0,65	0,45	0,05	0,14	0,23	0,45	2,25
ETA_39-G-CN-E	0,19	0,47	0,53	0,05	0,16	0,27	0,53	2,65
ETA_40-G-CN-E	0,43	0,97	0,37	0,04	0,11	0,18	0,37	1,83
ETA_41-G-OF-E	0,19	0,32	0,63	0,06	0,19	0,31	0,63	3,13
ETA_42-G-CF-E	0,25	0,53	0,5	0,05	0,15	0,25	0,50	2,50
ETA_43-G-FD-E	0,29	1,92	0,28	0,03	0,08	0,14	0,28	1,40
ETA_44-G-CN-E	0,18	0,74	0,42	0,04	0,13	0,21	0,42	2,09
ETA_45-G-CN-O	0,2	0,56	0,48	0,05	0,15	0,24	0,49	2,42

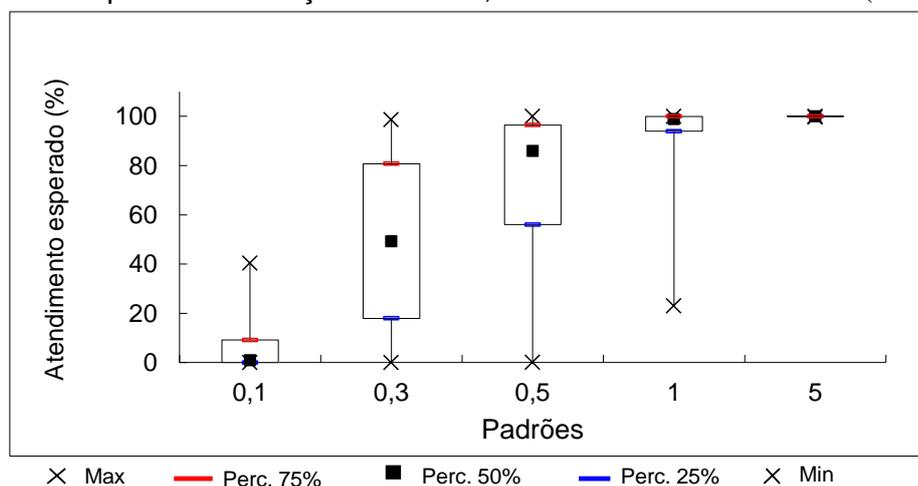
### 8.4.2.3 Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões de potabilidade para turbidez da água tratada

Na Tabela 8.4 estão registrados os percentuais de atendimento esperados aos padrões de potabilidade para a turbidez da água tratada, ao nível de confiabilidade de 95%. A Figura 8.5 mostra o gráfico *box-whisker*, onde é possível visualizar as variações apresentadas pelas estações.

É possível observar que para o padrão mais restritivo de 0,1 uT, estabelecido pela USEPA, a maioria das ETA apresentou um atendimento esperado próximo a 0%. O maior percentual esperado para este padrão ao nível de confiabilidade de 95% foi registrado pela ETA\_43-G-FD-E, acima de 40%. Para o padrão de 0,3 uT, 50% das estações registraram um percentual de atendimento esperado inferior a 50% e 75% inferior a 80%. Apenas três (ETA\_08-P-FD-O, ETA\_16-P-CN-EO e ETA\_30-M-CN-O) apresentaram um percentual de atendimento superior a 95% a este padrão, nas condições de operação observadas. Já para o padrão brasileiro de 0,5 uT, cerca de 38% das estações apresentaram percentual de atendimento esperado maior que 95%, sendo que para as ETA\_08-P-FD-O, ETA\_16-P-CN-EO, ETA\_30-M-CN-O, e ETA\_41-G-OF-E este padrão foi atendido integralmente.

O atendimento esperado ao padrão de potabilidade de 1,0 uT, superior a 95%, foi alcançado por cerca de 70% das ETA. No entanto, as ETA\_26-M-CN-O e ETA\_27-M-CN-O, ambas de médio porte, mostraram um cumprimento deste padrão abaixo de 25%. Por fim, para o limite menos restritivo de 5,0 uT, estabelecido pela OMS, quase a totalidade das estações atenderiam integralmente, sendo o menor percentual de atendimento esperado de 99,65% também para a ETA\_27-M-CN-O.

**Figura 8.5** – Variação do Percentual esperado de atendimento aos padrões de turbidez, estabelecidos pela Consolidação nº 5/2017, USEPA e diretriz da OMS - ( $1 - \alpha = 95\%$ )



**Tabela 8.4** – Percentual esperado de atendimento aos padrões de turbidez, estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/2017, USEPA e diretriz da OMS - ( $1 - \alpha = 95\%$ )

ETA	Turbidez média AT (uT)	CV	CDC	% esperado de atendimento				
				USEPA		Portaria 05/2017		OMS
				0,1	0,3	0,5	1	5
ETA_01-P-CN-E	0,34	0,48	0,53	0,63	47,72	85,88	99,55	100,00
ETA_02-P-CN-O	0,39	0,32	0,63	0,00	23,46	82,03	99,92	100,00
ETA_03-P-CN-	0,59	0,69	0,44	0,56	22,01	51,91	87,70	99,99
ETA_04-P-CN-O	0,50	0,35	0,61	0,00	8,88	56,03	98,56	100,00
ETA_05-P-CN-O	0,34	0,44	0,55	0,34	45,61	86,40	99,69	100,00
ETA_06-P-CN-O	0,21	0,77	0,41	22,68	80,74	94,74	99,59	100,00
ETA_07-P-FD-E	0,31	0,32	0,63	0,03	53,62	95,90	100,00	100,00
ETA_08-P-FD-O	0,21	0,19	0,75	0,00	97,14	100,00	100,00	100,00
ETA_09-P-CN-O	0,27	1,46	0,31	34,25	73,32	86,45	95,99	99,94
ETA_10-P-CN-O	0,39	0,62	0,46	1,87	43,84	77,07	97,48	100,00
ETA_11-P-CN-O	0,22	0,43	0,55	4,84	84,13	98,74	100,00	100,00
ETA_12-P-CN-	0,58	0,39	0,58	0,00	6,40	42,91	94,99	100,00
ETA_13-P-CN-O	0,40	0,59	0,47	1,22	40,75	75,95	97,60	100,00
ETA_14-P-CN-O	0,40	0,33	0,62	0,00	24,67	81,20	99,87	100,00
ETA_15-P-CN-O	0,70	0,46	0,54	0,00	4,15	28,87	85,06	100,00
ETA_16-P-CN-	0,14	0,39	0,58	23,83	98,64	99,98	100,00	100,00
ETA_17-P-CN-O	0,22	0,35	0,61	1,37	85,30	99,48	100,00	100,00
ETA_18-P-FD-O	0,85	0,83	0,39	0,49	14,32	35,87	72,34	99,75
ETA_19-P-CN-E	0,84	0,51	0,51	0,00	2,84	19,89	72,31	100,00
ETA_20-P-CN-O	0,22	0,58	0,48	11,65	80,32	96,44	99,90	100,00
ETA_21-P-CN-O	0,75	0,27	0,67	0,00	0,06	8,73	88,80	100,00
ETA_22P-FD-O	0,19	0,45	0,54	9,71	89,80	99,31	100,00	100,00
ETA_23-P-DF-E	0,65	0,70	0,43	0,39	17,95	45,73	83,93	99,98
ETA_24-P-CN-O	0,36	0,21	0,73	0,00	20,47	95,20	100,00	100,00
ETA_25-P-CN-O	0,26	0,37	0,59	0,69	73,34	98,02	100,00	100,00
ETA_26-M-CN-O	1,31	0,31	0,64	0,00	0,00	0,12	23,01	100,00
ETA_27-M-CN-O	1,56	0,50	0,51	0,00	0,06	1,56	24,38	99,65
ETA_28-M-CN-O	0,20	1,09	0,34	36,56	81,52	92,98	98,80	100,00
ETA_29-M-CN-O	0,30	0,68	0,44	7,15	62,37	87,35	98,83	100,00
ETA_30-M-CN-O	0,22	0,15	0,79	0,00	98,38	100,00	100,00	100,00
ETA_31-M-CN-O	0,43	1,01	0,36	9,17	49,22	72,24	92,18	99,96
ETA_32-M-CN-O	0,46	0,63	0,46	0,97	32,82	66,84	94,85	100,00
ETA_33-M-CN-O	0,30	0,75	0,42	9,18	62,55	86,15	98,33	100,00
ETA_34-M-CN-O	0,35	0,80	0,40	7,64	55,34	80,55	96,77	100,00
ETA_35-M-CN-O	0,67	0,47	0,53	0,00	6,03	33,92	87,05	100,00
ETA_36-M-CN-O	0,67	0,29	0,65	0,00	0,38	18,92	93,95	100,00
ETA_37-M-CN-E	0,48	0,36	0,60	0,00	11,98	61,09	98,81	100,00
ETA_38-M-CN-O	0,29	0,65	0,45	6,95	64,73	89,28	99,21	100,00
ETA_39-G-CN-E	0,19	0,47	0,53	11,04	89,02	99,10	100,00	100,00
ETA_40-G-CN-E	0,43	0,97	0,37	8,47	49,04	72,70	92,72	99,97
ETA_41-G-OF-E	0,19	0,32	0,63	2,51	93,63	99,92	100,00	100,00
ETA_42-G-CF-E	0,25	0,53	0,50	5,40	72,94	94,98	99,88	100,00
ETA_43-G-FD-E	0,29	1,92	0,28	40,33	73,86	85,32	94,61	99,82
ETA_44-G-CN-E	0,18	0,74	0,42	29,41	86,72	97,01	99,83	100,00
ETA_45-G-CN-O	0,20	0,56	0,48	15,34	85,91	97,99	99,96	100,00

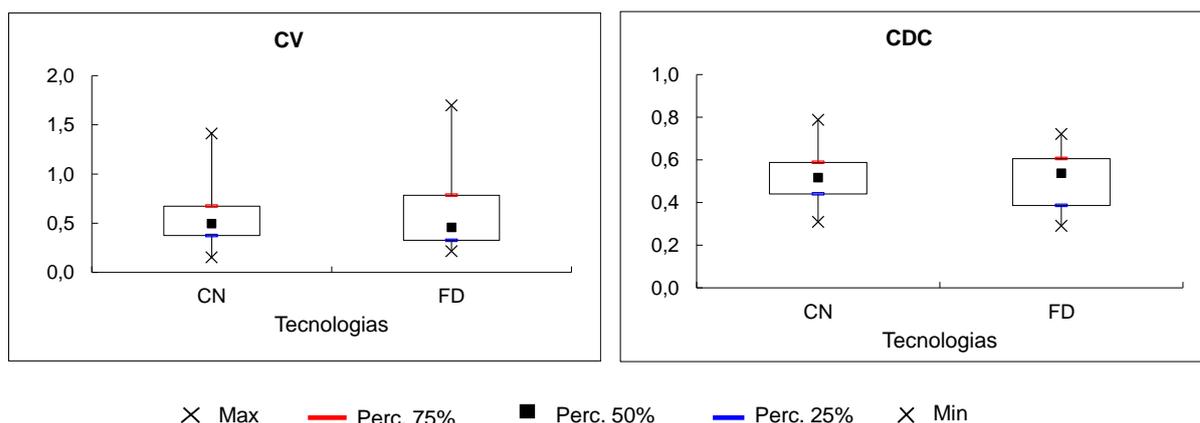
### 8.4.3 Análise das ETA agrupadas por tecnologia de tratamento

Neste item serão apresentados os resultados da análise de confiabilidade das ETA agrupadas por tecnologia de tratamento, especificamente para as estações convencionais e de filtração direta.

#### 8.4.3.1 Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC)

A Figura 8.6 apresenta gráficos *box-whisker* dos coeficientes de variação (CV) e de confiabilidade (CDC) das duas tecnologias de tratamento. Os valores medianos de CV e CDC não apresentaram diferenças significativas, conforme resultados do teste de *Mann Whitney*, ao nível de significância de 5%. Isto demonstra um desempenho semelhante das duas tecnologias.

**Figura 8.6** – Coeficientes de variação (CV) e de confiabilidade (CDC) das tecnologias de tratamento Convencional e Filtração Direta - ( $1 - \alpha = 95\%$ )

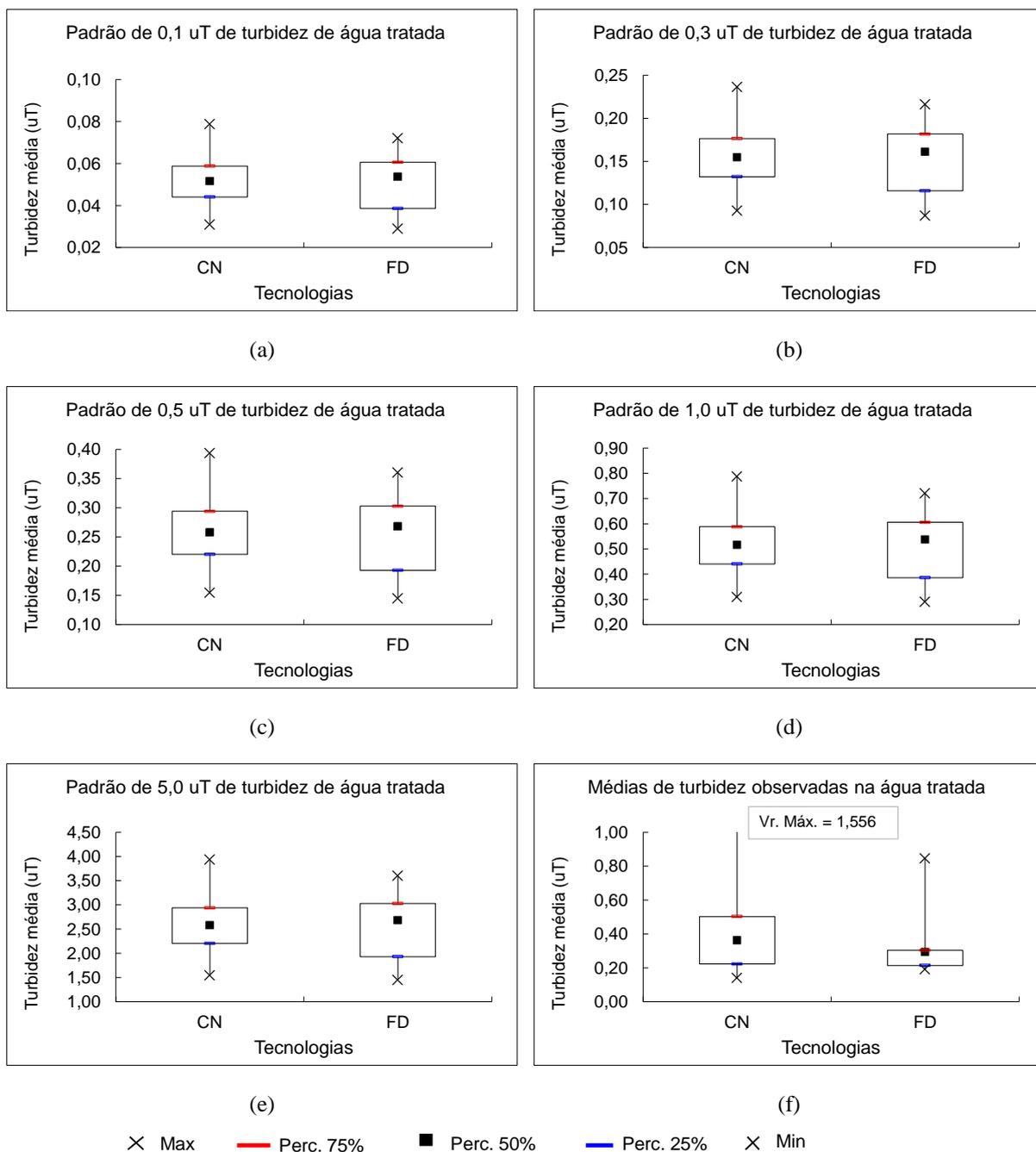


Pela observação dos gráficos, percebe-se ainda uma pequena variabilidade dos coeficientes de variação e de confiabilidade, com baixas amplitudes interquartis.

#### 8.4.3.2 Cálculo dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de potabilidade

A Figura 8.7 mostra os gráficos *box-whisker* com os valores médios necessários para que as estações convencionais e de filtração direta atendam aos padrões de potabilidade de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 e 5,0 uT. É apresentado, também, para melhor visualização, o gráfico de valores médios de turbidez efetivamente observados na água tratada pelas estações.

**Figura 8.7** – Valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de 0,1 (a); 0,3 (b); 0,5 (c); 1,0 (d) e 5,0 (e) uT e valores efetivamente observados nas estações (f), para  $(1 - \alpha) = 95\%$



Os resultados do teste de *Mann Whitney* não indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, em nenhuma comparação entre as tecnologias. Foram analisados valores médios de turbidez necessários para alcance de todos os padrões e também a turbidez média observada nos dados das estações. Isto confirma a semelhança dos desempenhos das duas tecnologias.

Visando explorar um pouco mais detalhadamente o comportamento das duas tecnologias de tratamento, foi efetuada uma análise mais detalhada das estações de tratamento. A Tabela 8.5

apresenta o percentual de ETA das duas modalidades de tratamento que apresentaram turbidez média menor ou igual aos valores médios necessários para alcance dos padrões.

**Tabela 8.5** – Percentual de estações de tratamento de água com turbidez média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões de potabilidade para turbidez da água tratada

Padrão	Tecnologias de tratamento	
	CN	FD
5,0 uT	100	100
1,0 uT	70	60
0,5 uT	27	60
0,3 uT	5	20
0,1 uT	0	0

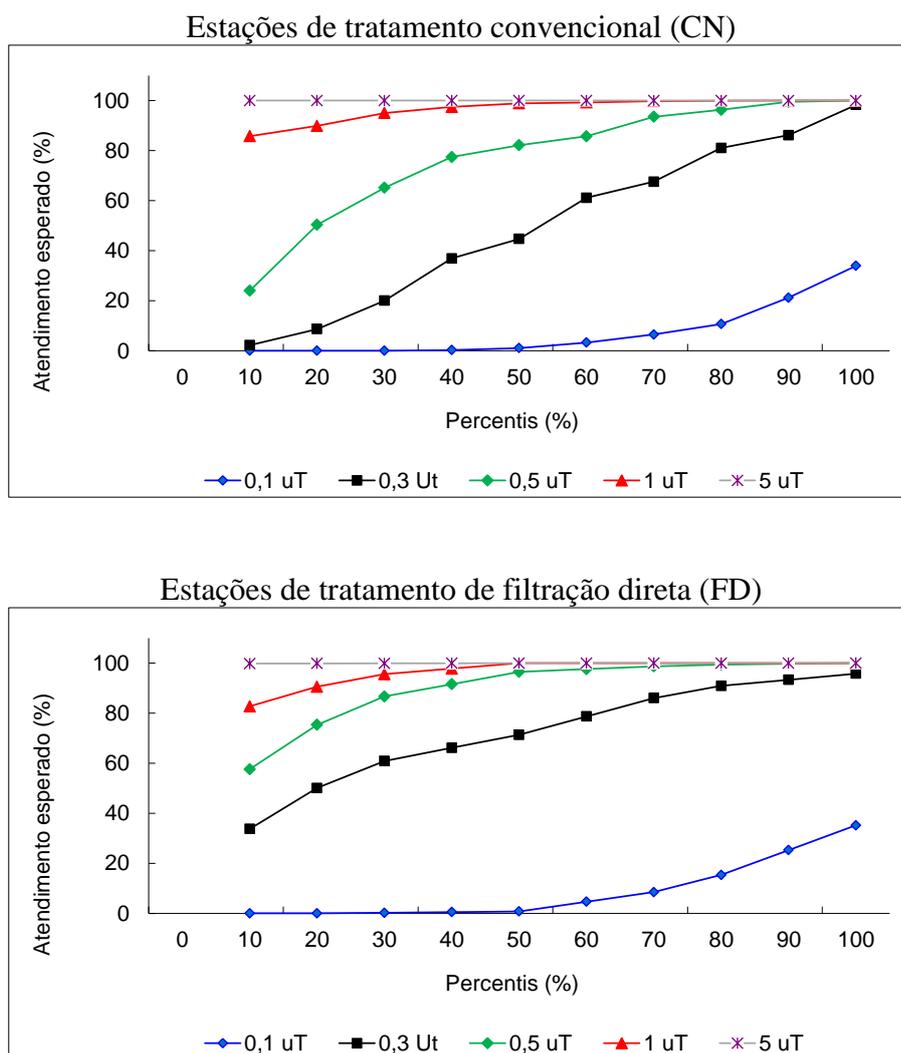
De acordo com a Tabela 8.5, apenas para o padrão menos restritivo de 5,0 uT, devido aos menores valores requeridos, foi elevado o percentual de ETA de ambas as modalidades que apresentaram valores médios menores ou iguais aos valores necessários para alcance dos padrões, sendo este percentual equivalente a 100%. Ou seja, estas estações nas atuais condições de operação já estão preparadas para atender integralmente a este padrão.

Já para os outros padrões, houve um decréscimo progressivo do percentual de estações de tratamento de água (do padrão menos restritivo para o mais restritivo) com turbidez efluente média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões. Embora as duas tecnologias comparadas tenham apresentado valores próximos, é possível notar na Tabela 8.5, no geral, um maior percentual de ETA de filtração direta com turbidez média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões em relação às estações convencionais. Isso pode ser justificado pelo fato de ETA de filtração direta exigir maior atenção da operação uma vez que a água permanece menos tempo no tratamento e com isso pode ser diretamente impactada por alterações da água bruta. Já para o padrão mais restritivo de 0,1 uT nenhuma estação, tanto da tecnologia de tratamento convencional quanto da tecnologia de tratamento por filtração direta, está apta a atender o padrão considerando os valores efluentes de projeto/operação necessários.

#### 8.4.3.3 Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões

Os resultados obtidos são apresentados nos gráficos de percentis de atendimento esperado com base nos coeficientes de confiabilidade (Figura 8.8), considerando os padrões de potabilidade de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 e 5,0 uT, para cada tecnologia de tratamento.

**Figura 8.8** – Percentual de valores iguais ou menores ao atendimento esperado aos padrões de turbidez (nível de confiabilidade de 95%)

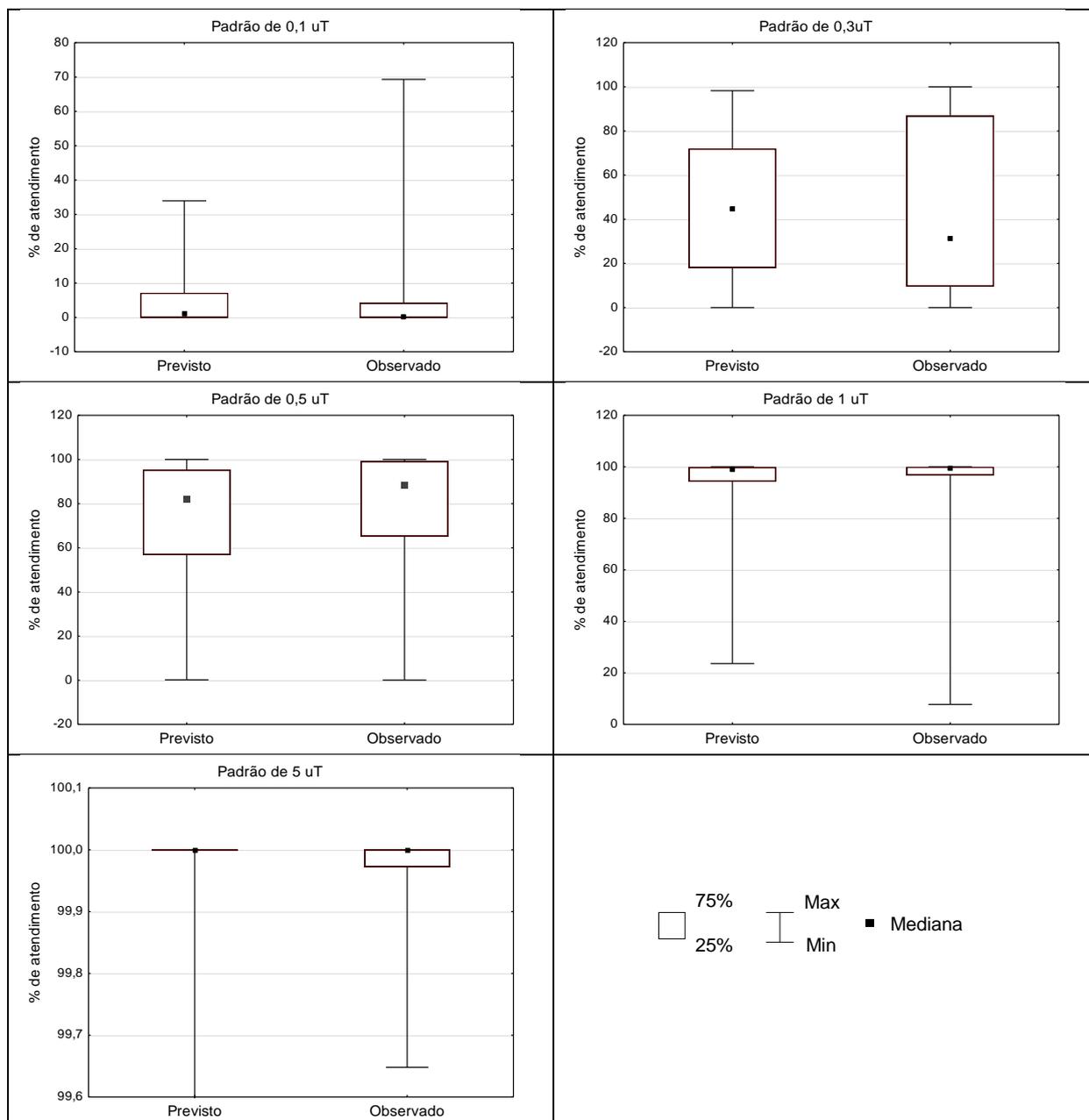


De acordo com a interpretação dos percentis e o padrão de 0,1 uT, percebe-se que 80% dos resultados das ETA de ambas as modalidades teriam um percentual de atendimento abaixo de 20% (ou seja, 80% das ETA apresentariam um percentual de violação a este padrão acima de aproximadamente 80%), no nível de confiabilidade de 95%. Para o padrão de potabilidade brasileiro de 0,5 uT, observa-se que 80% das ETA teriam um percentual de atendimento próximo a 100%, sendo um pouco mais elevado para as ETA de filtração direta. Já para o limite menos restritivo estabelecido pela OMS de 5,0 uT, ainda em relação ao percentil 80, o percentual de violação seria nulo, tendo em vista que cerca de 80% das estações teriam um percentual de atendimento de 100%.

Para comprovar a validade das projeções de desempenho efetuadas com base nos coeficientes de confiabilidade, os percentuais de atendimentos esperados (calculados a partir dos dados de 2012 a 2015) foram comparados com os percentuais de atendimentos efetivamente obtidos, no

ano de 2016, pelas tecnologias de tratamento para os padrões de potabilidade estabelecidos para turbidez da água tratada, conforme Figura 8.9. Optou-se por apresentar apenas os resultados de CN, mas os resultados da FD foram semelhantes.

**Figura 8.9** – Comparação dos resultados esperados e efetivamente observados para os padrões de turbidez da tecnologia convencional (CN)



Pela observação da Figura 8.9 é possível notar que o comportamento esperado de desempenho está muito próximo do comportamento observado, fato comprovado pelo teste de *Mann Whitney*. Os resultados não apontaram diferença significativa entre os percentuais de atendimento das estações convencionais. Isto viabiliza a utilização do modelo de

confiabilidade desenvolvido por Niku *et al.* (1979), que efetivamente descreve o comportamento de dados que seguem uma distribuição lognormal de probabilidade.

#### 8.4.4 Análise das ETA agrupadas por porte

Por fim, neste item serão apresentados os resultados da análise de confiabilidade das ETA agrupadas por porte: pequeno, médio e grande.

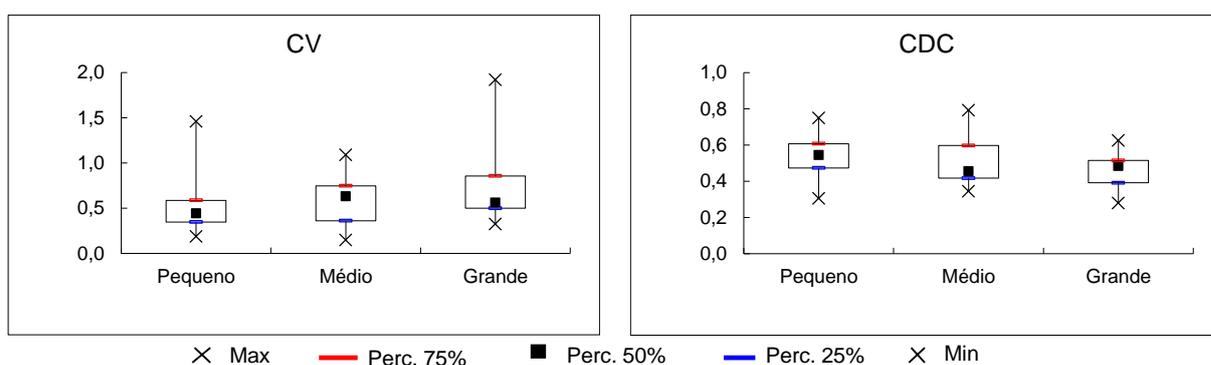
##### 8.4.4.1 Cálculo dos coeficientes de confiabilidade (CDC)

Os valores dos coeficientes de confiabilidade (CDC) foram calculados (para um nível de confiabilidade de 95%), considerando os coeficientes de variação (CV) efetivamente apresentados pelas estações em operação.

A Figura 8.10 mostra os gráficos *box-whisker* de turbidez da água tratada com os valores dos coeficientes de variação e de confiabilidade.

Os valores dos coeficientes de variação e de confiabilidade não apresentaram diferenças significativas entre si, conforme verificado pelo teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, ao nível de significância de 5%.

**Figura 8.10** – Coeficientes de variação (CV) e de confiabilidade (CDC), considerando o porte das estações

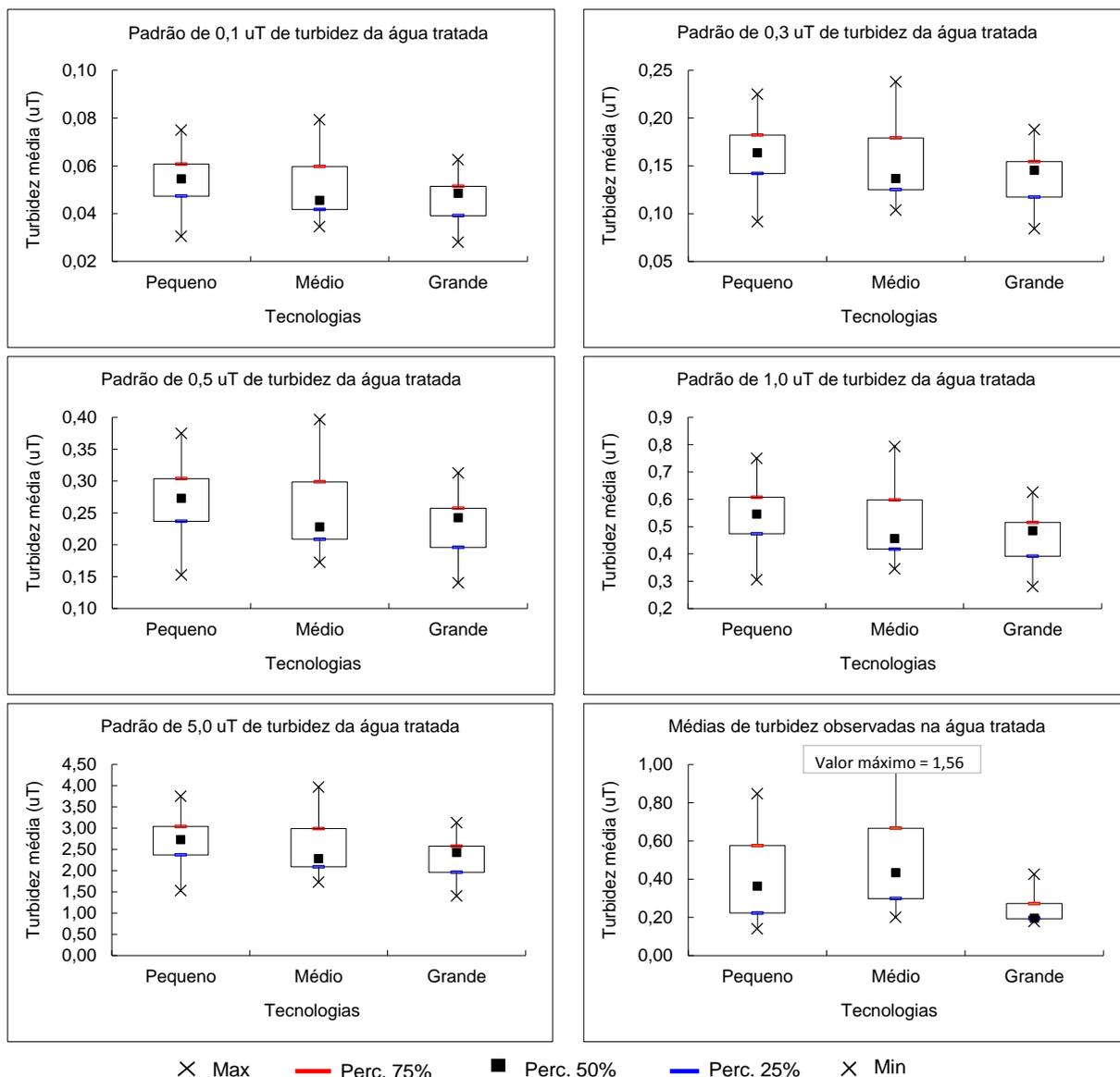


Tal fato não era esperado, uma vez que estações de tratamento de água de pequeno porte tendem a ter um menor rigor relacionado aos aspectos operacionais como manuseio de equipamentos, a frequência e a confiabilidade do monitoramento, além do fato de geralmente não serem automatizadas (LIBÂNIO, 2008), o que aumenta a probabilidade de erros ou desvios na operação.

#### 8.4.4.2 Cálculo dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões de potabilidade

A Figura 8.11 mostra os gráficos *box-whisker* com os valores médios de projeto necessários para que as ETA de pequeno, médio e grande porte em estudo atendam aos padrões de potabilidade de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 e 5,0 uT para turbidez.

**Figura 8.11** – Valores de projeto necessários para o alcance de diversos padrões de turbidez dos efluentes (nível de confiabilidade de 95%)



Apesar da aparente diferença entre os valores médios necessários para alcance dos padrões, não foram observadas diferenças significativas entre as estações dos três portes, para nenhum dos padrões de potabilidade.

A Tabela 8.6 apresenta o percentual de estações dos três portes que apresentaram turbidez média menores ou iguais aos valores médios necessários para alcance dos padrões.

**Tabela 8.6** – Percentual de estações de tratamento de água com turbidez média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões de potabilidade

Padrão	Porte		
	Pequeno	Médio	Grande
5,0 uT	100	100	100
1,0 uT	76	54	71
0,5 uT	36	8	57
0,3 uT	8	8	0
0,1 uT	0	0	0

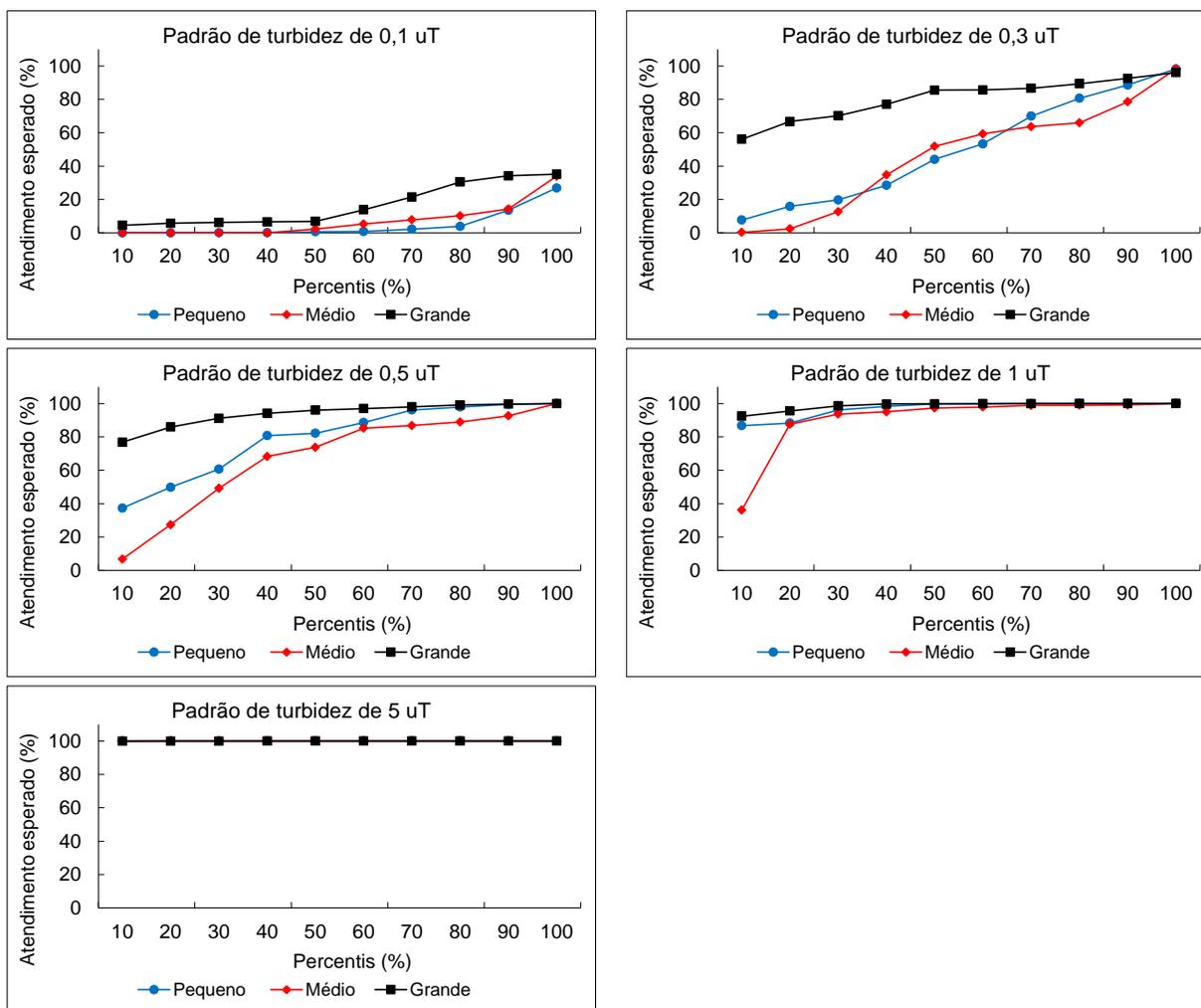
É possível notar que as estações de médio porte não apresentam bom desempenho, com apenas 54% com valor menor ou igual ao valor médio necessário para atingir o padrão de 1,0 uT (95%).

#### 8.4.4.3 Cálculo do percentual esperado de atendimento aos padrões

Por fim foram calculados os percentuais de atendimento das ETA de distintos portes, mantendo os mesmos parâmetros de operação. Os resultados obtidos para turbidez são apresentados na Figura 8.12, considerando os padrões de potabilidade de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 e 5,0 uT. São apresentados, por porte, os percentis de atendimento projetados com base nos coeficientes de confiabilidade.

A partir da interpretação da Figura 8.12 é possível notar que as ETA de grande porte (curva em preto) tendem a apresentar um percentual de valores iguais ou menores aos padrões de potabilidade para turbidez da água tratada superior aos demais portes. Tal constatação fica evidente ao se tomar como exemplo o percentil 90% para os padrões de 0,1 e 0,3 uT respectivamente. Considerando as ETA de grande porte para o padrão de 0,1 uT, pode-se dizer que até 90% dos resultados destas ETA teriam um percentual de atendimento esperado de cerca de 34%, enquanto que para as ETA de pequeno e médio porte este percentual seria cerca de apenas 14%. Já para o padrão de 0,3 uT, até 90% dos resultados das ETA de grande porte teriam um percentual de atendimento esperado de cerca de 90%, enquanto que para as ETA de pequeno e médio porte este percentual seria cerca de 88 e 78%, respectivamente.

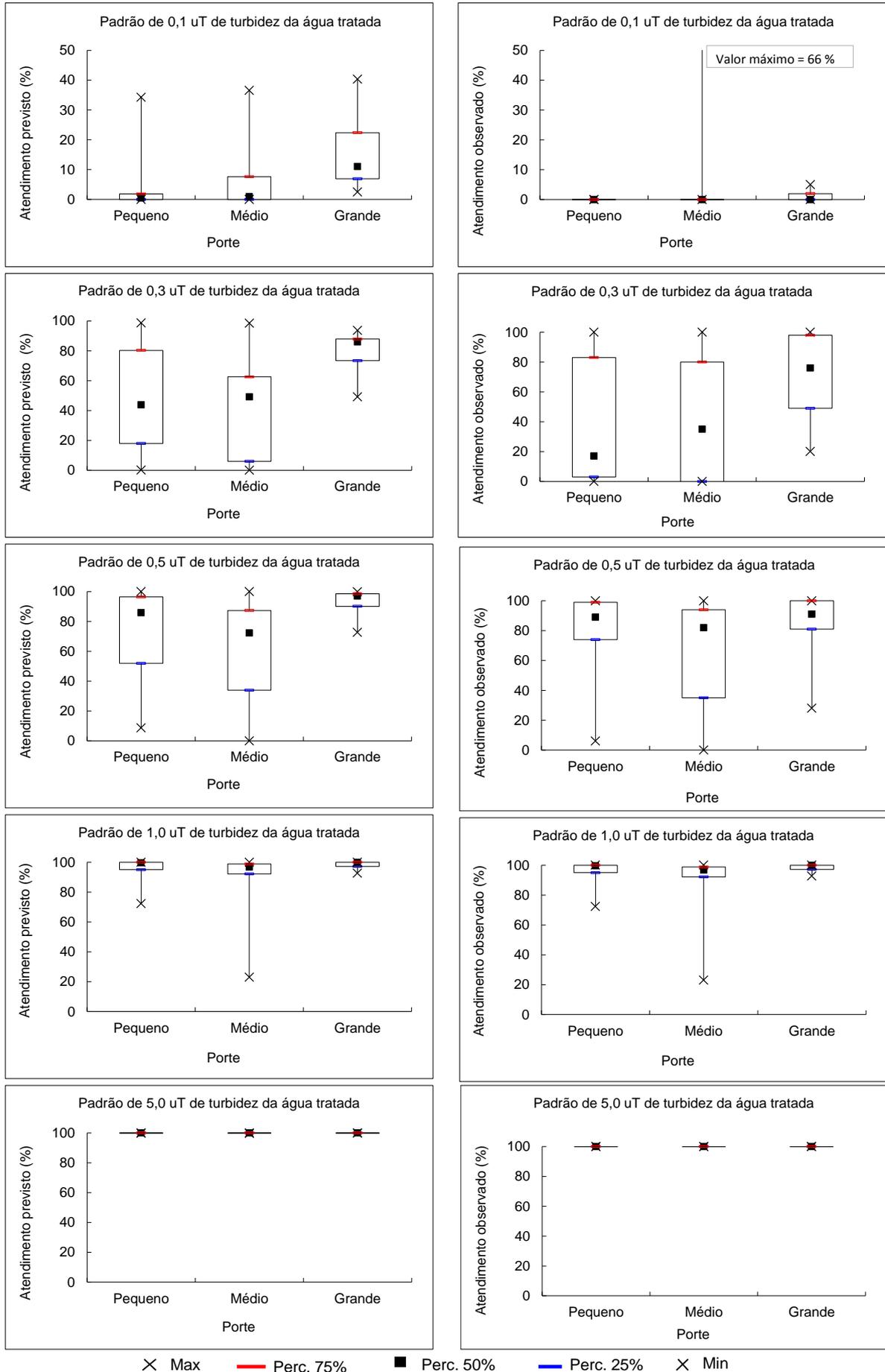
**Figura 8.12** – Percentual de valores iguais ou menores ao atendimento esperado aos padrões de turbidez (nível de confiabilidade de 95%)



Além disso, pode-se observar que o percentual esperado de atendimento é maior quando os padrões de turbidez são menos restritivos, como é o caso do padrão de 5 uT. Neste caso, todas as ETA apresentaram um percentual de 100% de atendimento. Já para o padrão de 0,1 uT, mais restritivo, o atendimento foi mínimo.

Para comprovar a validade das projeções de desempenho efetuadas com base nos coeficientes de confiabilidade, os percentuais de atendimentos esperados (calculados para os anos de 2012 a 2015) foram comparados com os percentuais de atendimentos obtidos no ano de 2016 pelas estações de tratamento de água de distintos portes para os padrões de potabilidade estabelecidos para turbidez da água tratada, conforme Figura 8.13.

**Figura 8.13 – Comparação dos resultados esperados e efetivamente obtidos para os padrões de turbidez**



Considerando a análise de confiabilidade por porte, também é possível notar, de acordo com a Figura 8.13, que o atendimento aos padrões de potabilidade esperado e o atendimento efetivamente observado para a turbidez da água tratada são bem próximos, não tendo sido determinada nenhuma diferença significativa entre os portes, viabilizando a utilização do modelo de confiabilidade desenvolvido por Niku *et al.* (1979).

## **8.5 Conclusão**

Os resultados obtidos na análise de confiabilidade mostraram grande variabilidade dos coeficientes de variação e de confiabilidade das estações analisadas e a dificuldade dessas estações atenderem padrões mais restritivos, como 0,1, 0,3 e 0,5 uT, considerando os valores médios de turbidez da água tratada que vêm apresentando. Para o padrão de 0,1 uT a maioria das ETA apresentou um atendimento esperado próximo a 0%. Para o padrão de 0,3 uT, 50% das estações registraram um percentual de atendimento esperado inferior a 50%. Já para o padrão brasileiro de 0,5 uT, cerca de 38% das estações apresentaram percentual de atendimento esperado maior que 95%. O padrão de potabilidade de (95% <1,0 uT) seria alcançado por cerca de 70% das ETA e o menos restritivo de 5,0 uT, estabelecido pela OMS, seria atendido integralmente por quase todas as estações.

A análise de confiabilidade das estações agrupadas por tecnologias (convencional – CN e filtração direta – FD) seguida do teste de *Mann Whitney* não indicou diferenças significativas entre os valores medianos de CV, CDC e dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões, demonstrando um desempenho semelhante das duas tecnologias.

Apenas para o padrão menos restritivo de 5,0 uT, todas as ETA de ambas as modalidades apresentaram valores médios menores ou iguais aos valores necessários para alcance dos padrões. Já para os outros padrões, houve um decréscimo progressivo do percentual de estações de tratamento de água (do padrão menos restritivo para o mais restritivo) com turbidez efluente média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões. Embora as duas tecnologias comparadas tenham apresentado valores próximos, no geral, o percentual de ETA de filtração direta com turbidez média menor ou igual aos valores necessários para alcance dos padrões foi maior em relação às estações convencionais. Cabe ressaltar que a quantidade de estações de filtração direta (cinco ETA) analisada foi inferior as de tecnologia convencional (37 ETA).

O comportamento esperado de desempenho, das duas tecnologias, está muito próximo do comportamento observado. Desta forma, os resultados do teste de *Mann Whitney* não

apontaram diferença significativa entre o atendimento esperado e observado, viabilizando a utilização do modelo de confiabilidade desenvolvido por Niku *et al.* (1979).

A análise de confiabilidade das estações agrupadas por porte (pequeno, médio e grande) seguida do teste de *Kruskal Wallis* também não indicou diferenças significativas entre os valores medianos de CV, CDC e dos valores médios de turbidez necessários para alcance dos padrões, demonstrando um desempenho semelhante das estações de distintos portes. No geral, as estações de grande porte tendem a apresentar um percentual de valores iguais ou menores aos padrões de potabilidade para turbidez da água tratada superior as demais, o que pode estar relacionado ao maior rigor operacional e automatização, que reduzem a probabilidade de erros ou desvios na operação. Também não foi identificada diferença significativa entre o atendimento esperado e observado das ETA agrupadas por porte, viabilizando a utilização do modelo de confiabilidade desenvolvido por Niku *et al.* (1979).

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O banco de dados analisado é bastante heterogêneo, considerando a variabilidade do número de dados por parâmetro de qualidade da água e por estações. As ETA convencionais sobressaem em relação às demais, assim como as de pequeno porte e manancial lóxico, ao se considerar a quantidade de dados analisados. Essa heterogeneidade pode ter influenciado nos resultados dos testes estatísticos aplicados.

- O tipo de manancial de captação, o porte e a tecnologia de tratamento empregada parecem influenciar individualmente o desempenho das estações de tratamento de água, uma vez que para todos os casos foram identificadas diferenças significativas nos testes estatísticos aplicados. No entanto, ao comparar as estações considerando as características similares, não foi possível identificar uma que possa justificar esse desempenho distinto.

- Os resultados das análises multivariadas não indicaram agrupamentos similares formados no dendrograma da água bruta e da água tratada em função do manancial de captação, do porte das estações e da tecnologia de tratamento empregada. Portanto, pode-se dizer que a operação da estação de tratamento de água, específica para cada ETA, parece influenciar mais no desempenho, do que os demais fatores analisados.

- O percentual de atendimento aos padrões de potabilidade dos parâmetros cor aparente, pH, cloro e flúor foi de 100% para a maioria das ETA analisadas. Apenas o parâmetro turbidez mostrou um descompasso em relação ao atendimento aos padrões, com exceção do menos restritivo de 5 uT da OMS, atendido integralmente pela maior parte das estações. Padrões mais restritivos, como o padrão brasileiro (0,5 uT) e americano (0,3 uT) não foram atendidos pela maioria das estações analisadas, indicando a necessidade de melhoria das condições construtivas e operacionais das mesmas.

- A análise de confiabilidade mostrou que os valores médios de turbidez observados na água tratada por quase todas as ETA seriam insuficientes para garantir 95% de atendimento aos padrões de 0,1, 0,3 e 0,5 uT. À medida que os padrões se tornam mais flexíveis, mais ETA conseguem atendê-los e, no caso do padrão de 5,0 uT, todas as ETA garantiriam facilmente o percentual de 95% de atendimento. Além disso, os resultados da análise de confiabilidade das estações agrupadas por tecnologia (convencional e filtração direta) e por porte (pequeno, médio e grande) não evidenciaram desempenhos diferentes em função do agrupamento analisado.

## 10 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Trabalhar com a média diária dos dados, o que também permitirá calcular as eficiências de remoção dos parâmetros e auxiliar na análise de desempenho das estações.
- Fazer a análise de tendência da qualidade da água bruta e a relação da mesma com a qualidade da água tratada.
- Verificar as frequências de ocorrência de cada um dos parâmetros da água bruta com as faixas indicadas na literatura para definição da tecnologia de tratamento mais apropriada.
- Buscar dados sobre as etapas do tratamento e fatores operacionais do processo.
- Avaliar quais são os equipamentos utilizados nas estações para medição dos parâmetros e o nível de aferição de cada um.
- Verificar quais estações estão operando em subcarga ou sobrecarga, em função das vazões de projeto e efetivamente tratadas.

## REFERÊNCIAS

AIZAWA, T.; MAGARA, Y. QUALITY STANDARDS FOR POTABLE WATER. In: EOLSS, Volume I. *Desalination and water resources: Enviromental and Health Aspects of Water Treatment and Supply*, 2010.

ALI, A.; HASHMI, H. N.; BAIG, N.; IQBAL, S.; MUMTAZ, K. Performance evaluation of the water treatment plants of Islamabad – Pakistan. *Arch. Environ. Sci.*, n.6, p. 111-117, 2012. ISSN 2167-1664.

ALMEIDA, J. M. S. *Otimização do índice de qualidade de estação convencional de tratamento de água (IQETA) por meio de análise estatística multivariada*. 2009. 73f. (Dissertação de Mestrado em Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ANGELIS, F. T. Utilização da flotação na remoção de algas e melhorias em uma ETA. In: 37ª ASSEMBLEIA NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIDORES MUNICIPAIS DE SANEAMENTO (ASSEMAE), 37, 2007, Guarulhos-SP. Disponível em: <<http://www.saneamentobasico.com.br/portal/wp-content/uploads/2013/02/UTILIZA%C3%87%C3%83O-DA-FLOTA%C3%87%C3%83O-NA-REMO%C3%87%C3%83O-DE-ALGAS.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2017.

APHA/AWWA/WEF. EATON, A.D, *et. al* (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23ª ed. Washington: American Public Health Association.

APHA/AWWA/WEF. EATON, A.D *et al.* (2017); Standard methods for the examination of water and wastewater. 21ª ed. Washington: American Public Health Association. 1496 p.

ASTEL A, BIZIUK M, PRZYJAZNY A. Chemometrics in monitoring spatial and temporal variation in drinking water quality. *Water Research*, 8: 1706–1716, 2006.

BASTOS, R.K.X.; VARGAS, L.C.; MOYSES, S.S.; SILVA, H.C. Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. Desvendando o real. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2000. [Anais eletrônicos].

BASTOS, R.K.X., HELLER, L., FORMAGGIA, D.M.E., AMORIM, L. C; SANCHEZ, P S.; BEVILACQUA, P.D., COSTA, S.S., CÂNCIO J. A. Revisão da Portaria 36 GM/90.Premissas e princípios norteadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. [CD-ROM].

BASTOS, R. K. X.; PERÍGOLO, R.A.; NASCIMENTO, L. E. Controle operacional e qualidade da água em estações de tratamento de água em situações adversas, a importância do conhecimento dos parâmetros de funcionamento da ETA. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, 27, 2003, Santo André-SP. *Anais...* Jaboticabal: ASSEMAE, 2003 [Anais eletrônicos].

BASTOS, R.K.X., HELLER, L; BEVILACQUA, P. D., PÁDUA, V.L.; BRANDÃO, C.C.S. Apresentado em: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29, San Juan, 22-27 Ago. 2004. *Legislação sobre controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. A experiência brasileira comparada à pan-americana.*

BASTOS, R.K.X.; OLIVEIRA, D.C; FREITAS, A.G.; NASCIMENTO, L.E. Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água antes e depois de intervenções de melhoria. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Este, Uruguai. *Resgatando principios antigos para os novos desafios do milênio.* Montevideu: AIDIS - Associação Americana de Engenharia Sanitária e Ambiental, Seção Uruguai, 2006. p.1-8.

BASTOS, R. K. X.; SILVA, B. M. R.; ALVES, P. H. G.; PAULA, J. T. G.; GOMES, F. H. C. Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água: compreender o funcionamento da eta para manter a produção de água segura para consumo humano. In: Congresso Abes Fenasan, 2017. São Paulo-Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017, p. 1-9.

BAYO J. & LOPEZ-CASTELLANOS J. Principal factor and hierarchical cluster analyses for the performance assessment of an urban wastewater treatment plant in the Southeast of Spain. *Chemosphere*, 155, 152-162, 2016.

BHAT, S. A.; MERAJ, G.; YASEEN, S.; PANDIT, A. K. Statistical assessment of water quality parameters for pollution source identification in Suknag stream: An inflow stream of lake Wular (Ramsar Site), Kashmir Himalaya. *Journal of Ecosystems*, p. 1-18, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília-DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANEXO XX da Portaria de Consolidação n° 5 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Origem: PRT MS/GM 2914/2011). *Diário Oficial da República da União*. Poder Executivo: Brasília, DF 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 518, de 25 março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 26 mar. 2004. 15p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n°635, de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água de sistemas públicos de abastecimento. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília-DF.

BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 73, p. 907-913, 2010.

CARMONA, E. N.; SBERVEGLIERI, V.; PONZONI, A.; ZAPPA D.; PULVIRENTI, A. Small Sensor Sistem S3 device to control the microbial contamination in water. *9th International Conference on Sensing Technology (ICST)*, Auckland, 2015, pp. 246-250.

CEZAR, M. C. M.; BERTOLOSSI, V. M.; SOUZA, T. B.; BRANDÃO, C. C. S. Seleção de meio filtrante para utilização em ETA com processo de flotação por ar dissolvido seguido de filtração rápida com opção para filtração direta, para tratamento de água com presença de algas: Estudo de Caso - ETA Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande-MS. 2005. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-100.pdf>>. Acesso em: 1 out. 17

CHHIPI-SHRESTHAA, G.; RODRIGUEZ, M.; SADIQ, R. Unregulated disinfection By-products in drinking water in Quebec: A meta analysis. *Journal of Environmental Management*, v.223, p. 984-1000, 2018.

CUNHA, D.G.F.; SABOGAL-PAZ, L.P.; DODDS, W,K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). *Ecological Engineering*, v. 94, p. 516–524, 2016.

DEAN, R.B., FORSYTHE, S.L. (1976a). Estimating the reliability of advanced waste treatment. Part 1, *Water & Sewage Works*, June.

DI BERNARDO, L; SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. 1. ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2008. v. 2. 1560p.

Di BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. & Dantas, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 3. ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2017. 1246p.

FAN X., CUI B., ZHAO H., ZHANG Z. & ZHANG, H. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1220-1234, 2010.

FERREIRA FILHO, S. S. e ALVES, R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2006, vol.11, n.4, pp. 362-370. ISSN 1413-4152.

FREITAS, A. G.; BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, Paula Dias ; PADUA, V. L. ; PIMENTA, J. F. ; ANDRADE, R. C. Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. *Engenharia Sanitária e Ambiental JCR*, v. 15, p. 37-46, 2010.

GORA, S.; ANDREWS, S. Removal of natural organic matter and disinfection byproduct precursors from drinking water using photocatalytically regenerable nanoscale adsorbents. *Chemosphere*, v.218, p. 52-63, 2019.

GUPTA, A. K.; SHRIVASTAVA, R.K. Uncertainty Analysis of Conventional Water Treatment Plant Design for Suspended Solids Removal. *Journal of Environmental Engineering*, v.132, n.11, p. 1413–1421, 2006. ISSN: 0733-9372.

GUPTA, A. K.; SHRIVASTAVA, R.K. Reliability-Constrained Optimization of Water Treatment Plant Design Using Genetic Algorithm. *Journal of Environmental Engineering*, v.136, n.3, p. 326–334, 2010. ISSN: 0733-9372.

HAIR, J. F. JR.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. *Análise Multivariada de dados*. Bookman: São Paulo, 2009. 6ª ed.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

HEALTH CANADA. *Guidelines for canadian drinking water quality - Summary table*. Water and air quality bureau, healthy environments and consumer safety branch, Health Canada, Ottawa, Ontario, 2017.

HONORATO, T. Z.; COSTANZI, R. N. Qualidade de Controle Aplicada a Estações de Tratamento de Água. In: 4TH INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER

ISMAIL A. H. Cluster analysis of some ecological properties in Al-Rustamiyah wastewater treatment plant 3rd expansion at Baghdad city, Iraq through (2006-2011). *Journal of Kerbala University*, 11 (1), 195-203, 2013.

JUNTUNEN, P.; LIUKKONEN, M.; LEHTOLA, M.; HILTUNEN, Y. Cluster analysis by self-organizing maps: An application to the modelling of water quality in a treatment process. *Applied Soft Computing*, v. 13, n. 7, p. 3191–3196, 2013. ISSN: 1568-4946.

KANNEL, P. R.; LEE, S.; KANEL, S. R.; KHAN, S. P. Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, n. 582, p. 390-399, 2007.

KAZI, T. G.; ARAIN, M. B.; JAMALI, M. K.; JALBANI, N.; AFRIDI, H. I.; SARFRAZ, R. A.; BAIG, J. A.; SHAH, A. Q. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 72, p. 301-309, 2009.

KIM, C.M. & PARNICHKUN, M. Prediction of settled water turbidity and optimal coagulant dosage in drinking water treatment plant using a hybrid model of k-means clustering and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Appl Water Sci* (2017).

KOKLU, R. SENGORUR, B. TOPAL, B. Water quality assessment using multivariate statistical methods, a case study: Melen River system, *Water Resource management*, (24)5: 959-978, 2010.

KOWALKOWSKI, T.; ZBYTNIIEWSKI, R.; SZPEJNA, J.; BUSZEWSKI, B. Application of chemometrics in water classification. *Water Research*, v. 40, n. 4, p. 744-752, 2006.

LAMRINI, B.; LAKHAL, EL-K.; LE LANN, M-V.; WEHENKEL, L. Data validation and missing data reconstruction using self-organizing map for water treatment. *Neural Computing and Applications*, v.20, n.4, p. 575-588, 2011. ISSN: 1433-3058.

LAPPONI, J.C. *Estatística usando Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 1ª ed., 2005. 476p.

LAUTENSCHLAGER K., HWANG C., LIU W. T., BOON N., KOSTER O., VROUWENVELDER H., et al. A microbiology-based multi-parametric approach towards assessing biological stability in drinking water distribution networks. *Water Research*. 47 3015–3025, 2013

LEAVEY-ROBACK, S.L., SUGAR, C.A., KRASNER, S.W., Suffet, I.H.(M.), NDMA Formation During Drinking Water Treatment: A Multivariate Analysis of Factors Influencing Formation. *Water Research*, v. 95, p. 1-394, 2016.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 4. ed. Campinas: Editora Átomo, 2016. 444 p.

LOGSDON, G.; HESS, A.; HORSLEY, M. (1999). Guide to selection of water treatment processes. In: LETTERMAN, R. D. (ed.). *Water Quality and Treatment: a Handbook of Community Water Supplies*. 5th ed. New York: McGraw-Hill/American Water Works Association, cap. 3, p. 3.1-3.26.

LOPES, V.C. *Índice de qualidade de desempenho de estações convencionais de tratamento de Água*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2005.

MA, B.; XUE, W.; HU, C.; LIU, H.; QU, J.; LI, L. Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultrafiltration during drinking water treatment. *Chemical Engineering Journal*, v.359, p. 159-167, 2019.

MAKUNGO, R.; ODIYO, J.O.; TSHIDZUMBA, N. Performance of small water treatment plants: The case study of Mutshedzi Water Treatment Plant. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 36, n. 14–15, p. 1151–1158, 2011. ISSN: 1474-7065.

MELO, LÍVIA DUARTE VENTURA. *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água*. 78 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MELO, L. D. V.; OLIVEIRA, M. D., LIBANIO, M.; OLIVEIRA, S. C. Applicability of statistical tools for evaluation of water treatment plants. *Desalination and Water Treatment*, v. 55, Issue 30, p. 14024-2015

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM. Deliberação Normativa n.º 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. *Diário Oficial de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG*.

MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M.D.; GARCÍA-VARGAS, M. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir River (Spain). *Analytica Chimica Acta*, v. 515, p. 143-9, 2004

METCALF & EDDY (2003). *Wastewater engineering: treatment, and reuse*. New York: Metcalf & Eddy, Inc., 4 th. Ed., 1819p.

MONDARDO, RENATA IZA. *Influência da Pré-oxidação na Tratabilidade das Águas Via Filtração Direta Descendente em Manancial com elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias*. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2004.

MOSTAFA, K. S.; BAHAREH, G.; ELAHE, D.; PEGAH, D. Optimization of conventional water treatment plant using dynamic programming. *Toxicology and Industrial Health*, v.29, n.3, p.1-9, 2013. ISSN: 0748-2337.

MUANGTHONG, S.; SHRESTHA, S. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187:548, p. 1-12, 2015.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. CPRM, 2007. 552p.

NIKU, S., SCHROEDER, E.D., SAMANIEGO F.J. (1979). Performance of activated sludge process and reliability-based design. *Journal Water Pollution Control Association*, v. 51, n. 12, p. 2841 - 2857.

NIKU, S.; SCHROEDER, E. D.; TCHOBANOGLIOUS, G.; SAMANIEGO, F. J. Performance of activated sludge process: reliability, stability and variability. United States Environmental Protection Agency Grant n° R805097-01. *Project Summary*. Cincinnati, OH: USEPA, 1981. 11 p.

NIKU, S., SCHROEDER, E.D., HAUGH, R.S. (1982). Reliability and stability of trickling filter processes. *Journal Water Pollution Control Association*, v. 54, n. 2, p. 129 - 134.

NOVOTNA,K.; CERMAKOVA, L.; PIVOKONSKA, L.; CAJTHAM, T.; PIVOKONSKY, M. Microplastics in drinking water treatment – Current knowledge and research needs. *Science of The Total Environment*, 2019.

OLIVEIRA, M. D., DE REZENDE, O. L. T., OLIVEIRA, S. M. A. C., & LIBÂNIO, M. Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. [online]. v. 19, n. 4, p. 361-372, 2014.

OLIVEIRA, S. M. A. C. (2006). *Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos*. 2006. 231 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 389-398, 2007a. ISSN 14134152.

OLIVEIRA, S.M.A.C.; VON SPERLING, M. Reliability analysis of stabilisation pond systems. *Water Science & Technology*, v. 55, n. 11, pp 127–134, 2007 b.

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Reliability analysis of wastewater treatment plants. *Water Research*, v. 42, n. 4, p. 1182-1194, 2008. ISSN 00431354.

OMO-IRABOR, O. O.; OLOBANIYI, S. B.; ODUYEMI, K.; AKUNNA, J. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, p. 666-673, 2008.

OHNO, K.; KADOTA, E.; MATSUI, Y.; KONDO, Y. Plant capacity affects some basic indices of treated water quality: Multivariate statistical analysis of drinking water treatment plants in Japan. *J Water Supply Res Technol – AQUA*, v. 58, p.476–487, 2009.

PANDA, A. K.; SASTRY, V. R. B.; KUMAR, A.; SAHA, S. K. Quantification of karanjin, tannin and trypsin inhibitors in raw and detoxified expeller and solvent extracted karanj (*Pongamia glabra*) cake. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19 (12): 1776 – 1783. 2006.

RAO SRINIVASA, N.S.; SHRIHARI, S. Sensitivity analysis of integrated water treatment plant. *Journal of Environmental Research and Development*, v.4, n.3, p. 866-875, 2010. ISSN 0973-6921.

RICHTER C. A. & AZEVEDO NETTO J. M. 1991 *Tratamento de água. Tecnologia atualizada* Edgard Blücher LTDA, São Paulo.

ROCHA, F. A. *et al.* Análise do desempenho de uma estação de tratamento de água convencional automatizada. *Revista Educação, Tecnologia e Cultura*, Salvador, n.06, p. 70-75, 2009.

RWOO, M. A., JUAHIR, H., AZID, A., SHARIF, S. M., ROSLAN, N. M., ZAIN, S. M., & TORIMAN, M. E. Spatial Variations of Drinking Water Quality Monitoring in Water Treatment Plant Using Environmetric Techniques. *In From Sources to Solution*, p. 325–329, 2014.

SHAO, S.; WANG, Y.; SHI, D.; TANG, C.Y.; LIU, Z.; LI, J. Biofouling in ultrafiltration process for drinking water treatment and its control by chlorinated-water and pure water backwashing. *Science of The Total Environment*, v. 644, p. 306-314, 2018.

SHAPIRO, S.S., WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, p. 591-611, 1965.

SHAPIRO, S.S., WILK, M.B., CHEN, H.J. A comparative study of various tests for normality. *Journal of the American statistical association*, v. 63, Issue 324, p. 1343–1372, 1968.

SIMAZAKI, D., KUBOTA, R., SUZUKI, T., AKIBA, M., NISHIMURA, T., KUNIKANE, S. Occurrence of selected pharmaceuticals at drinkingwater purification plants inJapan and implicationsfor human health. *Water Res*, v. 76, n. 1, p. 187–200, 2015.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling and Software*, 2007, Vol. 22 (4), pp.464-475

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in northern Greece. *Water Research*, v. 37, n. 17, p. 4119-4124, 2003.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study. *Water Research*, n. 38, p. 3980-3992, 2004.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – a case study. *Analytica Chimica Acta*, v. 538, p. 355-374, 2005.

SMETI, E.M.; THANASOULIAS, N.C.; KOUSOURIS, L.P; TZOUMERKAS, P.C. An approach for the application of statistical process control techniques for quality improvement of treated water. *Desalination*, v. 213, n. 1–3, p. 273–281, 2007. ISSN: 0011-9164.

SMETI, E. M., THANASOULIAS, N. C., LYTRAS, E. S., TZOUMERKAS, P. C., GOLFINOPOULOS, S. K. Treated water quality assurance and description of distribution networks by multivariate chemometrics. *Water Research*, v. 43, n.18, p. 4676–4684, 2009.

SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. *Statistical Methods*. Ames: Iowa State University Press, 8th. ed., 1989. 503p

SOLSONA, Felipe. *Guias para elaborar normas de calidad del agua de bebida en los países em desarrollo*. Lima: Organización Panamericana de la Salud / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002. 70p.

SU, H-C.; , Y-S.; PAN, C-G.; CHEN, J.; HE, L-Y.; YING, G-G. Persistence of antibiotic resistance genes and bacterial community changes in drinking water treatment system: From

drinking water source to tap water. *Science of The Total Environment*, v.616–617, p. 453-461, 2018.

TEIXEIRA, A.R.; SANTOS, E.P.C.; PÁDUA, V. L.; HELLER, L.; DI BERNARDO, L.; LIBÂNIO, M. A confiabilidade analítica dos valores de turbidez da água filtrada e seu efeito no cumprimento do padrão de potabilidade. *Revista engenharia sanitária e ambiental*, v.9, n.1, p.65-72. 2004. ISSN 1413-4152.

TEODOSIUA, C.; GILCA, A.F.; BARJOVEANUA, G.; FIOREB, S. Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment. *Journal of Cleaner Production*, v. 197, p. 1210-1221, 2018.

TOWLER, E.; RAJAGOPALAN, B.; SUMMERS, R. S. Using Parametric and Nonparametric Methods to Model Total Organic Carbon, Alkalinity, and pH after Conventional Surface Water Treatment. *Environmental Engineering Science*, v.26, n.8, p.1299-1308, 2009. ISSN: 1092-8758.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. 3. Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 98/83/CE do Conselho de 3 de Novembro de 1998 relativo à qualidade da água destinada ao consumo humano, 1998.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. *National Primary Drinking Water Regulations*. Long Term 1 – *Enhanced Surface Water Treatment Rule (LT1ESWTR)* Implementation Turbidity Provisions (EPA 816-R-04-007). Washington, D.C.: USEPA, 2004. (Guia técnico).

USEPA. United States Environmental Protection Agency. *National Primary Drinking Water Regulations*. EPA 816-F-09-004 May 2009. Washington, D.C.: USEPA, 2009.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

VENTURA, L.; OLIVEIRA, M. D., QUEIROGA, L. L., OLIVEIRA, S. C., LIBANIO, M. Applying the Reliability Analysis to Evaluate Water Treatment Plants. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 14, n. 4, p. 634 – 642, 2014.

WHO - World Health Organization. *Guidelines for drinking - water quality*. 3 ed. Geneva: WHO, 2004. 515p.

WHO - World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality*. 2ed. Geneva: WHO, 1995. 188p.

WHO - World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality. Volume 1 – Recommendations*. Geneva: WHO, 1984. 130p.

WHO. World Health Organization. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4 ed. Geneva: WHO, 2011.

YU, S., WU, Q., LI, Q., GAO, J., LIN, Q., MA, J., XU, Q., WU, S. Anthropogenic landuses elevate metal levels in stream water in an urbanizing watershed. *Sci. Total Environ.* v. 488–489, p. 61–69, 2014.

ZHANG Q., LI Z., ZENG G., LI J., FANG Y., YUAN Q., WANG Y. & YE F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 123–131, 2009.

ZHANG X., WANG Q., LIU Y., WU J. & YU M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the southwest new territories and Kowloon, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 17–27, 2011.

ZHANG K., ACHARI G., SADIQ R., LANGFORD C. H. & DORE H. I. An integrated performance assessment framework for water treatment plants. *Water Research*, 4 (6), 1673–1683, 2012.

ZHOU, F.; LIU, Y.; GUO, H. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 132, p. 1–13, 2007.

ZHOU, S.; SHAO, Y.; GAO, N.; LI, L.; DENG, J.; ZHU, M.; ZHU, S. Effect of chlorine dioxide on cyanobacterial cell integrity, toxin degradation and disinfection by-product formation. *Science of the Total Environment*, v. 482(483), p. 208–213, 2014.

## APÊNDICE 1 - Gráficos *Normal Probability Plot* para os parâmetros da água bruta e tratada da ETA 5

Figura A1.1 – Gráfico *Normal Probability Plot* da vazão - ETA\_05-P-CN-O

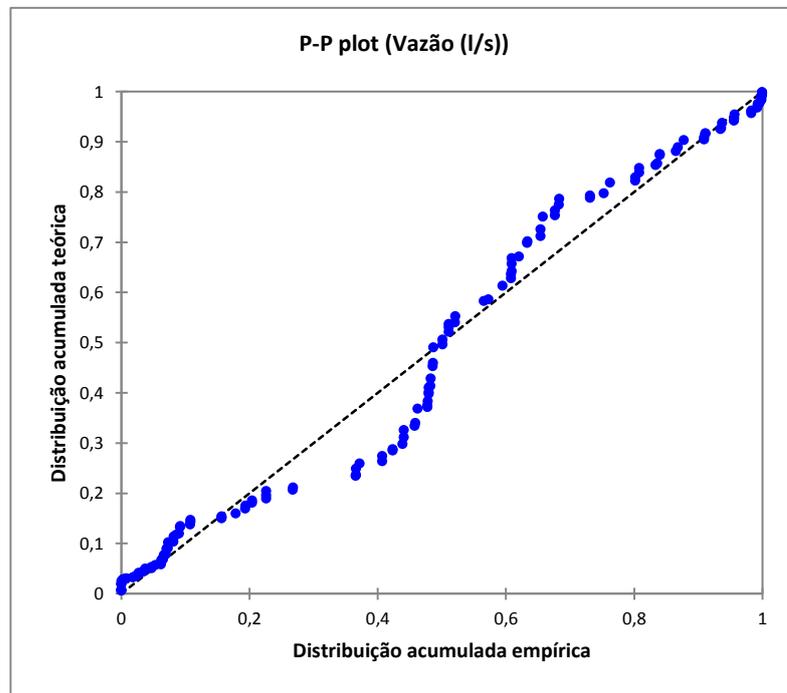
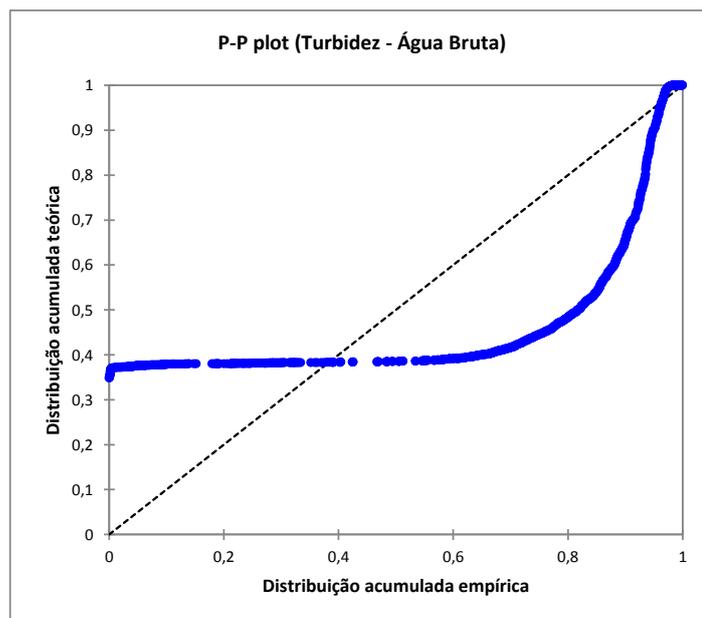
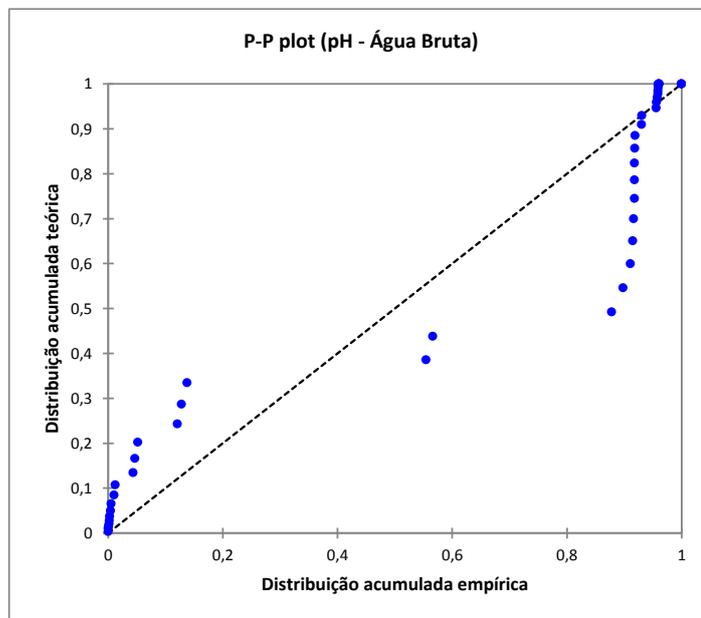
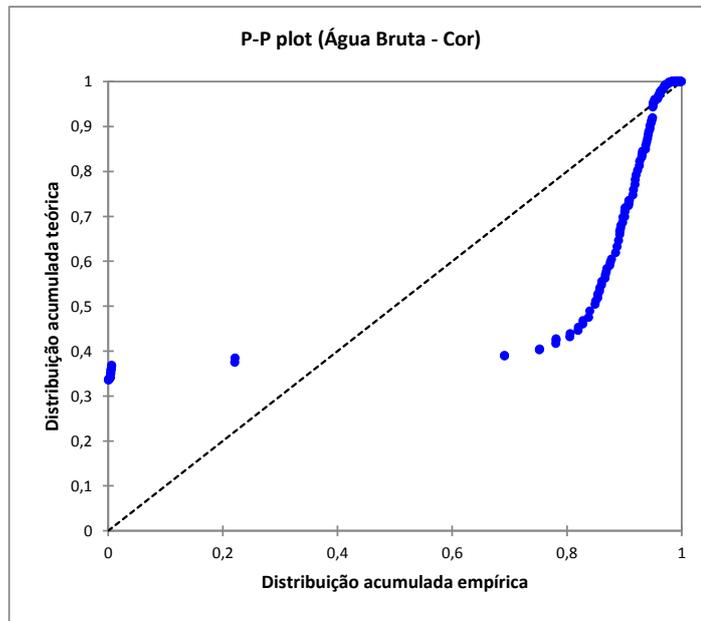
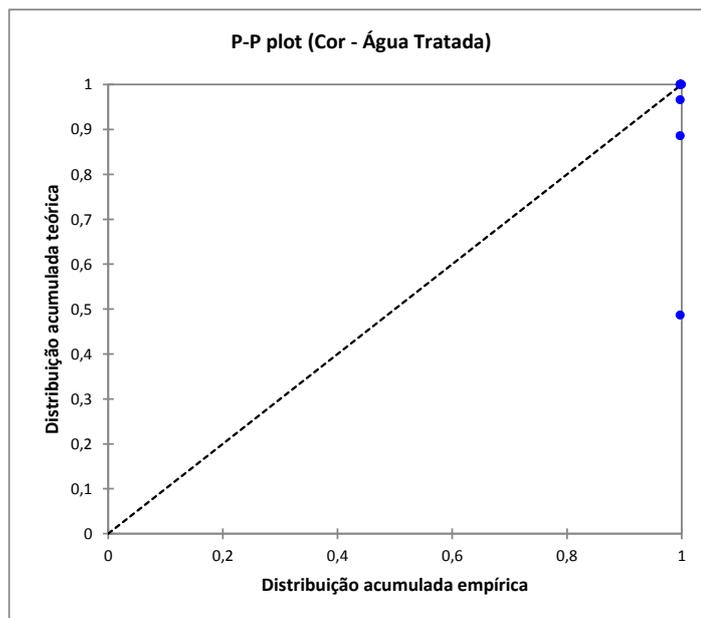
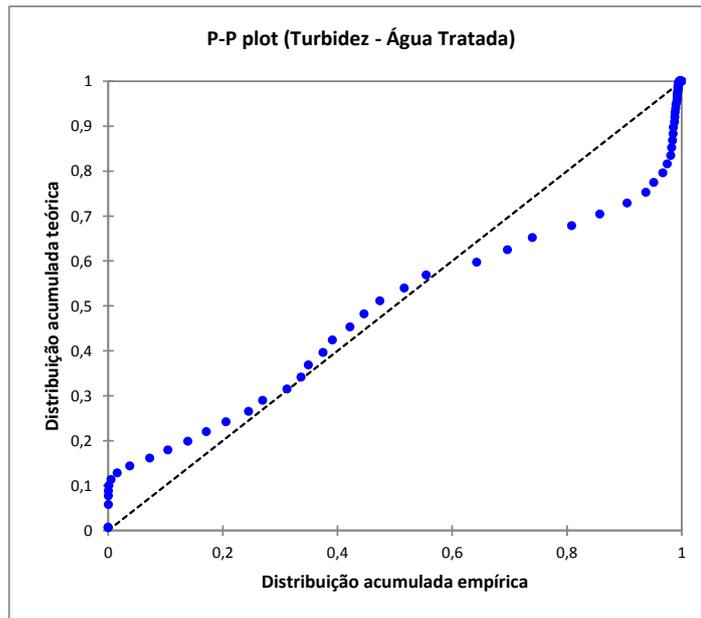


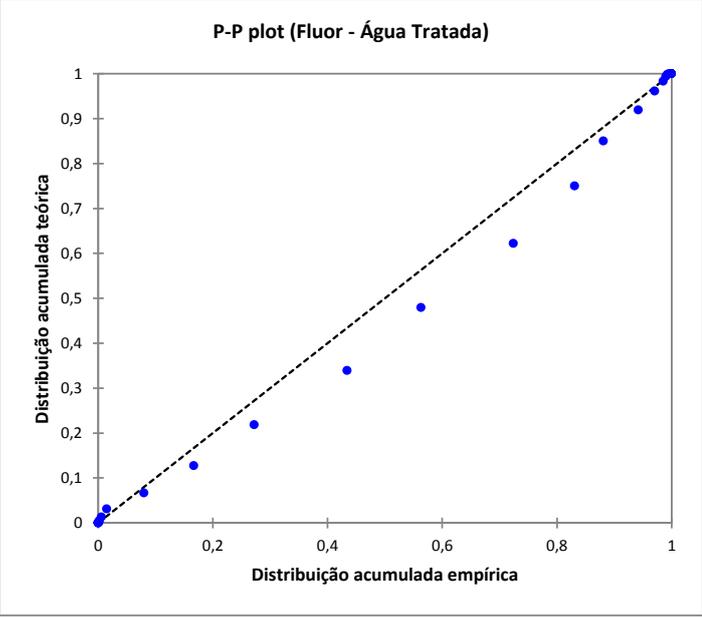
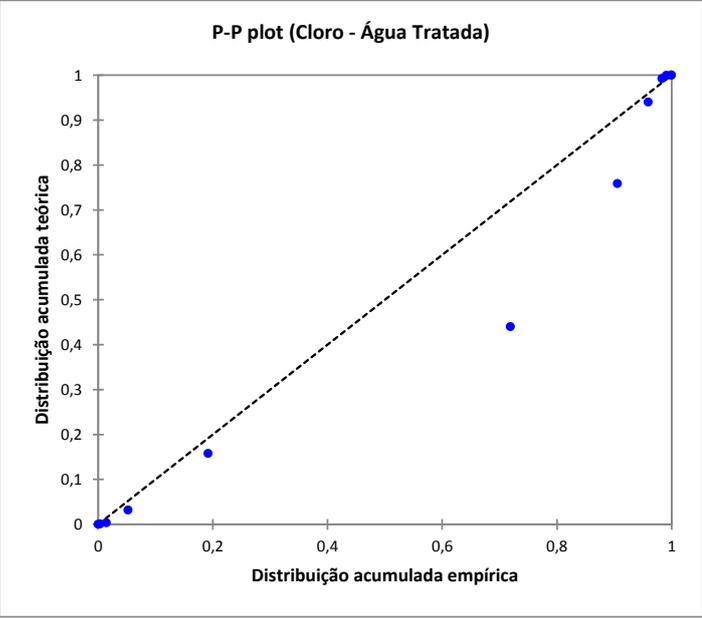
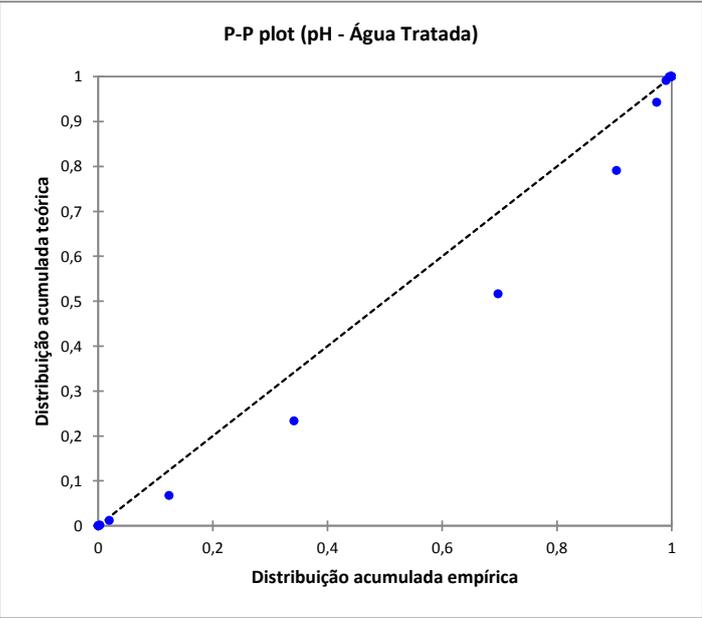
Figura A1.2 – Gráfico *Normal Probability Plot* da turbidez, cor aparente e pH da água bruta - ETA\_05-P-CN-O





**Figura A1.3** – Gráfico *Normal Probability Plot* da turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada - ETA\_05-P-CN-O





## APÊNDICE 2 - Estatística Descritiva

**Tabela A2.1 – Estatística Descritiva – ETA\_01-P-CN-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	21,24	78,76	0,36	212,94	2,51	6,78	7,37	1,43	0,74
Mediana	21,90	25,10	0,35	150,00	2,50	6,80	7,30	1,50	0,73
Mínimo	0,40	0,26	0,08	1,00	2,50	3,80	4,80	0,50	0,22
Máximo	30,20	4.000,00	7,40	4.000,00	10,00	12,70	8,70	2,00	0,88
Percentil 10%	18,00	12,70	0,20	80,00	2,50	6,10	6,80	1,20	0,70
Percentil 25%	20,00	16,90	0,27	100,00	2,50	6,50	7,00	1,50	0,71
Percentil 75%	23,20	45,90	0,42	240,00	2,50	7,10	7,70	1,50	0,75
Percentil 90%	24,60	135,70	0,48	380,00	2,50	7,50	8,00	1,50	0,78
Percentil 95%	25,00	330,35	0,50	500,00	2,50	7,70	8,30	1,50	0,80
CA <sup>1</sup>	-1,35	7,84	14,35	7,30	22,75	-0,21	0,34	-1,75	-0,20
DP <sup>2</sup>	3,02	210,59	0,17	253,61	0,14	0,60	0,48	0,16	0,03
CV <sup>3</sup>	0,14	2,67	0,49	1,19	0,06	0,09	0,06	0,11	0,05
Nº dados	9.003	6.494	20.239	5.718	20.238	6.011	20.119	20.237	20.207

**Tabela A2.2 – Estatística Descritiva – ETA\_02-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	50,01	37,97	0,40	185,25	1,00	7,59	7,73	1,21	0,76
Mediana	50,10	28,00	0,39	140,00	1,00	7,60	7,80	1,20	0,76
Mínimo	18,70	0,99	0,05	14,00	1,00	5,70	4,80	0,00	0,14
Máximo	60,80	860,00	4,99	3.600,00	1,00	8,80	8,90	1,70	0,90
Percentil 10%	48,70	13,91	0,29	60,00	1,00	7,20	7,40	1,20	0,72
Percentil 25%	49,10	18,10	0,33	90,00	1,00	7,40	7,60	1,20	0,74
Percentil 75%	50,50	44,50	0,45	240,00	1,00	7,80	7,90	1,20	0,78
Percentil 90%	52,00	73,69	0,50	340,00	1,00	7,80	8,00	1,30	0,80
Percentil 95%	53,00	96,00	0,55	460,00	1,00	7,90	8,10	1,30	0,82
CA <sup>1</sup>	-2,10	4,41	10,89	5,24	-	-1,10	-1,58	-3,01	-0,53
DP <sup>2</sup>	1,68	33,18	0,12	151,47	0,00	0,25	0,29	0,08	0,03
CV <sup>3</sup>	0,03	0,87	0,30	0,82	0,00	0,03	0,04	0,06	0,05
Nº dados	8.657	12.942	17.882	5.956	17.823	10.089	17.847	17.868	17.781

**Tabela A2.3 – Estatística Descritiva – ETA\_03-P-CN-EO**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	50,13	36,88	0,59	99,86	2,22	7,01	6,77	1,33	0,73
Mediana	51,00	13,80	0,47	40,00	2,50	7,00	6,80	1,30	0,72
Mínimo	0,30	0,69	0,02	1,00	1,00	4,10	5,20	0,00	0,00
Máximo	74,00	831,00	9,30	4.000,00	5,20	7,70	8,60	2,50	1,40
Percentil 10%	43,20	4,80	0,24	10,00	1,00	6,80	6,50	1,20	0,67
Percentil 25%	48,30	7,70	0,33	25,00	2,50	6,90	6,60	1,30	0,69
Percentil 75%	53,70	31,15	0,74	90,00	2,50	7,10	6,90	1,40	0,76
Percentil 90%	56,90	88,22	1,00	200,00	2,50	7,20	7,00	1,50	0,80
Percentil 95%	56,90	163,00	1,40	400,00	2,50	7,30	7,10	1,50	0,82
CA <sup>1</sup>	-3,19	4,56	4,16	6,90	-1,18	-1,76	0,11	-1,40	-0,35
DP <sup>2</sup>	6,61	68,71	0,44	197,44	0,61	0,21	0,20	0,16	0,06
CV <sup>3</sup>	0,13	1,86	0,74	1,98	0,28	0,03	0,03	0,12	0,08
Nº dados	9.171	6.635	21.487	6.116	15.408	6.177	21.485	21.495	19.825

**Tabela A2.4 – Estatística Descritiva – ETA\_04-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	48,05	78,44	0,50	301,08	2,51	7,17	7,20	1,25	0,80
Mediana	51,30	32,40	0,46	87,50	2,50	7,20	7,20	1,20	0,80
Mínimo	5,30	0,27	0,15	1,00	2,50	4,20	6,10	0,50	0,60
Máximo	61,30	2300,00	1,10	4000,00	5,00	8,30	8,50	1,50	0,85
Percentil 10%	33,20	16,10	0,32	50,00	2,50	7,00	7,00	1,20	0,76
Percentil 25%	51,30	21,70	0,38	62,50	2,50	7,10	7,10	1,20	0,78
Percentil 75%	51,30	72,00	0,59	250,00	2,50	7,30	7,30	1,30	0,82
Percentil 90%	51,30	182,00	0,77	875,00	2,50	7,30	7,50	1,40	0,84
Percentil 95%	51,30	293,00	0,86	1300,00	2,50	7,40	7,60	1,40	0,85
CA <sup>1</sup>	-1,68	5,75	0,98	3,24	20,65	-1,85	0,60	-0,39	-0,84
DP <sup>2</sup>	6,93	137,20	0,17	510,66	0,11	0,18	0,23	0,09	0,03
CV <sup>3</sup>	0,14	1,75	0,34	1,70	0,04	0,03	0,03	0,07	0,04
Nº dados	10.961	6.585	19.862	6.092	19.862	5.523	19.861	19.861	19.861

**Tabela A2.5 – Estatística Descritiva – ETA\_05-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	33,32	41,80	0,37	117,52	2,55	7,02	6,99	1,02	0,74
Mediana	33,20	10,60	0,38	40,00	2,50	6,80	7,00	1,00	0,74
Mínimo	0,70	0,09	0,02	1,00	2,50	5,00	6,00	0,10	0,00
Máximo	72,40	1.910,00	7,00	3.700,00	70,00	10,80	8,20	1,60	0,88
Percentil 10%	19,30	8,81	0,24	30,00	2,50	6,50	6,80	0,90	0,71
Percentil 25%	22,80	9,42	0,29	40,00	2,50	6,80	6,90	1,00	0,72
Percentil 75%	44,00	27,13	0,43	50,00	2,50	7,00	7,10	1,10	0,76
Percentil 90%	50,10	84,00	0,45	260,00	2,50	7,20	7,10	1,10	0,78
Percentil 95%	53,50	179,00	0,47	500,00	2,50	8,20	7,20	1,20	0,79
CA <sup>1</sup>	0,10	7,11	15,90	6,21	38,49	3,25	0,34	0,69	-0,51
DP <sup>2</sup>	12,85	106,62	0,14	273,72	1,62	0,74	0,13	0,12	0,03
CV <sup>3</sup>	0,39	2,55	0,37	2,33	0,63	0,11	0,02	0,12	0,04
Nº dados	16.106	4.656	22.427	3.783	21.251	9.309	22.416	22.419	22.401

**Tabela A2.6 – Estatística Descritiva – ETA\_06-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	57,70	28,30	0,22	121,71	2,51	6,80	7,15	1,36	0,73
Mediana	58,40	10,20	0,21	80,00	2,50	6,80	7,20	1,30	0,75
Mínimo	0,40	0,10	0,00	2,50	2,50	2,50	4,00	0,00	0,07
Máximo	63,00	3.621,00	6,90	3.000,00	10,00	9,40	8,80	2,00	0,90
Percentil 10%	55,00	3,50	0,14	40,00	2,50	6,50	6,80	1,20	0,70
Percentil 25%	56,90	5,30	0,18	60,00	2,50	6,70	7,00	1,30	0,70
Percentil 75%	61,40	16,20	0,25	120,00	2,50	6,90	7,30	1,50	0,75
Percentil 90%	61,40	48,15	0,28	220,00	2,50	7,00	7,50	1,50	0,75
Percentil 95%	61,40	90,53	0,31	360,00	2,50	7,30	7,60	1,60	0,78
CA <sup>1</sup>	-5,17	14,87	28,76	7,03	32,00	0,35	0,19	-0,47	-1,98
DP <sup>2</sup>	4,40	95,40	0,14	158,68	0,17	0,31	0,27	0,15	0,04
CV <sup>3</sup>	0,08	3,37	0,66	1,30	0,07	0,05	0,04	0,11	0,05
N° dados	6.471	6.986	17.565	6.664	17.590	6.888	17.560	17.536	17.415

**Tabela A2.7 – Estatística Descritiva – ETA\_07-P-FD-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	51,09	5,57	0,30	29,06	1,72	7,09	6,81	1,26	0,77
Mediana	52,00	4,45	0,28	20,00	1,00	7,10	6,80	1,20	0,77
Mínimo	2,00	0,22	0,08	0,00	1,00	2,80	6,10	0,80	0,60
Máximo	56,50	42,00	1,51	120,00	2,50	9,40	8,30	1,60	0,85
Percentil 10%	47,70	2,48	0,19	15,00	1,00	6,80	6,60	1,10	0,68
Percentil 25%	49,40	3,26	0,23	20,00	1,00	7,00	6,70	1,20	0,72
Percentil 75%	52,00	6,42	0,35	30,00	2,50	7,20	6,90	1,30	0,81
Percentil 90%	52,90	9,88	0,44	60,00	2,50	7,40	7,10	1,50	0,84
Percentil 95%	52,90	13,40	0,48	80,00	2,50	7,50	7,10	1,50	0,85
CA <sup>1</sup>	-3,74	2,38	1,38	2,12	0,08	1,08	0,89	0,04	-0,31
DP <sup>2</sup>	2,00	3,76	0,10	21,69	0,75	0,24	0,20	0,13	0,06
CV <sup>3</sup>	0,04	0,67	0,33	0,75	0,44	0,03	0,03	0,10	0,07
N° dados	11.051	20.467	20.431	20.463	16.411	20.450	20.431	20.416	20.321

**Tabela A2.8 – Estatística Descritiva – ETA\_08-P-FD-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	53,84	9,40	0,21	38,07	1,01	7,26	7,06	1,39	0,77
Mediana	54,00	7,59	0,21	30,00	1,00	7,10	7,00	1,40	0,77
Mínimo	2,60	2,00	0,10	10,00	1,00	6,40	5,80	0,80	0,28
Máximo	60,30	96,00	0,80	300,00	5,00	9,80	8,60	2,00	0,85
Percentil 10%	52,00	4,80	0,16	20,00	1,00	7,00	7,00	1,20	0,73
Percentil 25%	52,70	5,80	0,18	30,00	1,00	7,00	7,00	1,20	0,75
Percentil 75%	54,80	10,10	0,23	40,00	1,00	7,30	7,10	1,50	0,79
Percentil 90%	56,10	15,50	0,25	60,00	1,00	7,60	7,20	1,70	0,80
Percentil 95%	56,50	20,90	0,28	80,00	1,00	8,00	7,30	1,80	0,81
CA <sup>1</sup>	-7,47	4,06	2,12	3,58	23,45	2,87	1,57	0,62	-0,65
DP <sup>2</sup>	1,81	6,85	0,05	21,41	0,13	0,41	0,14	0,21	0,03
CV <sup>3</sup>	0,03	0,73	0,22	0,56	0,13	0,06	0,02	0,15	0,04
Nº dados	9.936	19.681	19.685	19.677	19.688	19.676	19.682	19.678	19.560

**Tabela A2.9 – Estatística Descritiva – ETA\_09-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	51,92	157,44	0,33	422,82	2,39	7,06	7,11	0,88	0,76
Mediana	51,10	36,00	0,20	200,00	2,50	6,90	7,10	0,80	0,75
Mínimo	0,30	0,20	0,02	2,50	1,00	4,20	2,00	0,00	0,00
Máximo	69,00	4.000,00	13,00	4.000,00	8,50	12,00	8,70	2,00	0,97
Percentil 10%	48,30	11,00	0,13	80,00	2,50	6,80	6,90	0,60	0,69
Percentil 25%	49,70	16,00	0,16	90,00	2,50	6,80	7,00	0,80	0,73
Percentil 75%	54,00	108,00	0,32	400,00	2,50	7,40	7,20	1,00	0,80
Percentil 90%	56,90	394,00	0,74	1000,00	2,50	7,60	7,40	1,20	0,84
Percentil 95%	56,90	787,30	0,80	2000,00	2,50	7,70	7,50	1,30	0,85
CA <sup>1</sup>	-2,08	4,55	9,87	3,26	-0,43	1,04	-0,90	0,86	-0,85
DP <sup>2</sup>	3,46	361,03	0,46	679,62	0,49	0,37	0,21	0,21	0,06
CV <sup>3</sup>	0,07	2,29	1,41	1,61	0,21	0,05	0,03	0,24	0,08
Nº dados	11.996	5.623	20.978	5.492	15.240	5.516	20.919	20.966	20.634

**Tabela A2.10 – Estatística Descritiva – ETA\_10-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	102,12	21,93	0,36	126,93	1,07	6,88	6,93	1,33	0,73
Mediana	100,00	9,00	0,32	80,00	1,00	6,90	7,00	1,20	0,75
Mínimo	9,00	1,10	0,00	2,50	1,00	2,50	3,80	0,00	0,00
Máximo	120,00	420,00	6,60	3.000,00	15,00	10,00	8,50	2,00	0,85
Percentil 10%	95,00	2,20	0,12	20,00	1,00	6,70	6,50	1,00	0,70
Percentil 25%	100,00	5,00	0,25	50,00	1,00	6,80	6,70	1,10	0,70
Percentil 75%	100,00	26,00	0,42	160,00	1,00	7,00	7,20	1,50	0,75
Percentil 90%	120,00	55,50	0,58	300,00	1,00	7,10	7,50	1,80	0,76
Percentil 95%	120,00	90,00	0,70	400,00	1,00	7,10	7,50	2,00	0,80
CA <sup>1</sup>	0,77	3,70	6,54	3,76	11,03	-2,75	-0,77	0,43	-0,30
DP <sup>2</sup>	8,27	32,35	0,24	136,46	0,59	0,18	0,40	0,32	0,03
CV <sup>3</sup>	12,35	0,68	1,50	0,93	1,80	37,59	17,49	4,11	24,06
Nº dados	8.659	6.096	21.515	6.097	17.216	6.056	21.550	21.544	21.536

**Tabela A2.11 – Estatística Descritiva – ETA\_11-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	62,98	45,11	0,21	224,45	1,00	7,15	7,39	1,53	0,73
Mediana	63,10	16,40	0,20	150,00	1,00	7,20	7,40	1,50	0,75
Mínimo	0,70	0,13	0,01	0,20	1,00	6,00	6,20	0,00	0,00
Máximo	73,80	1.876,00	6,00	3.000,00	5,00	7,80	8,80	2,20	0,88
Percentil 10%	58,70	7,00	0,15	60,00	1,00	6,70	7,20	1,30	0,70
Percentil 25%	60,90	9,00	0,18	75,00	1,00	7,00	7,30	1,40	0,70
Percentil 75%	65,30	40,10	0,24	250,00	1,00	7,40	7,50	1,70	0,75
Percentil 90%	66,80	114,79	0,28	500,00	1,00	7,50	7,60	1,80	0,77
Percentil 95%	69,10	182,00	0,33	750,00	1,00	7,50	7,60	1,90	0,78
CA <sup>1</sup>	-1,25	5,31	24,21	3,55	95,36	-0,92	-0,04	0,13	-0,80
DP <sup>2</sup>	3,62	80,89	0,08	258,09	0,04	0,29	0,16	0,22	0,03
CV <sup>3</sup>	0,06	1,79	0,38	1,15	0,04	0,04	0,02	0,14	0,04
Nº dados	7.400	17.134	18.078	17.159	18.189	17.145	18.102	18.100	18.075

**Tabela A2.12 – Estatística Descritiva – ETA\_12-P-CN-EO**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	63,40	7,11	0,54	64,34	1,67	6,24	7,33	2,03	0,72
Mediana	63,00	5,40	0,50	60,00	1,00	6,20	7,30	2,00	0,70
Mínimo	6,20	1,05	0,14	4,00	1,00	3,50	2,00	0,00	0,00
Máximo	105,00	65,00	7,40	550,00	7,50	9,30	9,00	2,90	0,85
Percentil 10%	60,00	2,80	0,35	35,00	1,00	5,80	6,60	1,80	0,70
Percentil 25%	60,00	3,50	0,42	50,00	1,00	6,00	6,80	1,90	0,70
Percentil 75%	65,00	9,50	0,60	70,00	2,50	6,40	7,80	2,20	0,75
Percentil 90%	67,00	12,50	0,82	100,00	2,50	6,60	8,10	2,30	0,75
Percentil 95%	70,00	16,80	0,95	100,00	2,50	6,70	8,20	2,50	0,76
CA <sup>1</sup>	0,97	2,57	3,35	2,22	0,97	0,60	0,06	-0,41	-9,27
DP <sup>2</sup>	5,32	5,05	0,22	23,80	0,83	0,34	0,56	0,23	0,04
CV <sup>3</sup>	0,08	0,71	0,41	0,37	0,50	0,05	0,08	0,11	0,06
Nº dados	5.460	6.104	23.502	6.070	23.589	6.057	23.228	23.506	23.516

**Tabela A2.13 – Estatística Descritiva – ETA\_13-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	62,01	34,00	0,39	134,52	2,53	6,96	7,25	1,00	0,75
Mediana	70,90	6,30	0,37	30,00	2,50	7,00	7,20	1,00	0,75
Mínimo	2,50	0,65	0,02	1,30	2,50	2,90	6,10	0,00	0,00
Máximo	86,10	3.500,00	9,13	4.000,00	15,00	13,70	9,00	1,70	0,94
Percentil 10%	37,40	3,16	0,20	12,50	2,50	6,60	7,00	1,00	0,70
Percentil 25%	44,00	4,00	0,28	15,00	2,50	6,80	7,10	1,00	0,72
Percentil 75%	74,20	16,00	0,45	90,00	2,50	7,10	7,40	1,00	0,78
Percentil 90%	75,80	58,54	0,54	300,00	2,50	7,30	7,50	1,00	0,81
Percentil 95%	75,80	130,00	0,68	600,00	2,50	7,40	7,60	1,10	0,83
CA <sup>1</sup>	-0,76	9,61	10,37	5,44	20,89	0,86	0,20	1,62	-0,33
DP <sup>2</sup>	15,42	123,01	0,26	340,57	0,35	0,29	0,21	0,07	0,05
CV <sup>3</sup>	0,25	3,62	0,66	2,53	0,14	0,04	0,03	0,07	0,06
Nº dados	9.018	19.847	19.820	10.723	16.586	19.305	19.715	19.822	19.093

**Tabela A2.14 – Estatística Descritiva – ETA\_14-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	78,90	162,35	0,38	415,94	1,00	6,87	7,34	1,22	0,75
Mediana	80,00	46,60	0,38	200,00	1,00	6,90	7,30	1,20	0,75
Mínimo	26,00	1,04	0,02	40,00	1,00	5,40	6,20	0,60	0,60
Máximo	98,00	3.930,00	4,00	4.000,00	1,00	7,90	8,70	1,60	0,93
Percentil 10%	75,00	14,80	0,20	50,00	1,00	6,40	7,10	1,20	0,70
Percentil 25%	78,00	22,40	0,29	90,00	1,00	6,70	7,20	1,20	0,72
Percentil 75%	81,00	119,00	0,46	400,00	1,00	7,10	7,50	1,20	0,77
Percentil 90%	82,50	397,00	0,56	900,00	1,00	7,10	7,60	1,30	0,78
Percentil 95%	83,00	789,00	0,64	2000,00	1,00	7,20	7,60	1,40	0,79
CA <sup>1</sup>	-3,86	4,75	2,15	3,48	-	-1,15	0,42	1,15	-0,10
DP <sup>2</sup>	4,52	348,10	0,15	628,16	0,00	0,29	0,19	0,08	0,03
CV <sup>3</sup>	0,06	2,14	0,39	1,51	0,00	0,04	0,03	0,07	0,04
Nº dados	9.499	4.837	20.810	4.806	20.811	4.536	20.807	20.808	18.114

**Tabela A2.15 – Estatística Descritiva – ETA\_15-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	76,00	54,11	0,66	547,80	3,13	7,21	7,02	2,12	0,73
Mediana	76,00	14,00	0,60	300,00	5,00	7,10	7,00	2,00	0,72
Mínimo	0,80	1,26	0,05	3,00	1,00	5,60	5,60	0,60	0,00
Máximo	99,00	1.250,00	5,30	4.000,00	15,00	10,00	9,30	3,50	0,94
Percentil 10%	66,50	5,60	0,30	150,00	1,00	6,50	6,60	1,60	0,67
Percentil 25%	70,30	7,20	0,42	200,00	1,00	6,80	6,80	1,80	0,70
Percentil 75%	81,00	36,00	0,80	600,00	5,00	7,60	7,20	2,50	0,76
Percentil 90%	86,00	117,60	1,00	1200,00	5,00	8,00	7,60	3,00	0,80
Percentil 95%	88,00	276,60	1,20	2000,00	5,00	8,20	7,80	3,00	0,82
CA <sup>1</sup>	-0,27	4,74	1,87	2,89	0,20	0,36	1,07	0,99	0,16
DP <sup>2</sup>	7,63	124,38	0,33	685,43	2,12	0,59	0,38	0,51	0,05
CV <sup>3</sup>	0,10	2,30	0,50	1,25	0,68	0,08	0,05	0,24	0,07
Nº dados	8.839	5.705	18.378	5.638	13.471	5.704	18.376	18.373	17.388

**Tabela A2.16 – Estatística Descritiva – ETA\_16-P-CN-EO**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	69,27	32,14	0,14	94,63	2,40	7,46	7,01	1,50	0,75
Mediana	80,00	3,40	0,12	15,00	2,50	7,50	7,00	1,50	0,74
Mínimo	5,00	0,10	0,00	1,00	1,00	2,40	2,50	0,50	0,16
Máximo	109,00	4.000,00	3,30	4.000,00	15,00	10,00	7,90	1,80	0,87
Percentil 10%	27,80	1,40	0,10	5,00	2,50	6,90	6,90	1,50	0,72
Percentil 25%	42,00	2,20	0,10	10,00	2,50	7,50	7,00	1,50	0,73
Percentil 75%	87,00	12,00	0,15	60,00	2,50	7,60	7,00	1,50	0,76
Percentil 90%	90,00	50,00	0,20	160,00	2,50	7,60	7,10	1,60	0,78
Percentil 95%	93,00	130,00	0,24	380,00	2,50	7,60	7,10	1,60	0,78
CA <sup>1</sup>	-0,97	10,84	11,09	7,08	-0,28	-2,33	-11,58	-0,76	-0,98
DP <sup>2</sup>	24,53	131,06	0,06	300,74	0,40	0,24	0,07	0,04	0,02
CV <sup>3</sup>	0,35	4,08	0,42	3,18	0,17	0,03	0,01	0,03	0,03
N° dados	10.221	23.732	23.743	23.692	23.743	23.742	23.740	23.739	23.732

**Tabela A2.17 – Estatística Descritiva – ETA\_17-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	91,10	12,95	0,22	33,51	2,45	6,76	7,65	1,24	0,76
Mediana	91,30	6,70	0,21	20,00	2,50	6,70	7,60	1,30	0,76
Mínimo	9,30	2,30	0,00	5,00	1,00	5,00	6,30	0,00	0,00
Máximo	97,90	495,00	1,20	1.500,00	5,00	9,30	9,00	2,00	0,86
Percentil 10%	87,80	3,90	0,15	10,00	2,50	6,60	7,20	1,10	0,70
Percentil 25%	89,60	4,80	0,18	15,00	2,50	6,60	7,40	1,20	0,73
Percentil 75%	93,10	11,50	0,25	35,00	2,50	6,80	7,90	1,30	0,79
Percentil 90%	93,10	22,38	0,31	60,00	2,50	7,00	8,10	1,40	0,82
Percentil 95%	94,90	38,00	0,36	90,00	2,50	7,30	8,30	1,40	0,84
CA <sup>1</sup>	-5,09	9,59	2,00	11,68	-5,11	2,27	0,30	-0,65	-0,38
DP <sup>2</sup>	2,27	26,41	0,07	50,47	0,26	0,26	0,35	0,13	0,05
CV <sup>3</sup>	0,02	2,04	0,33	1,51	0,11	0,04	0,05	0,10	0,06
N° dados	9.436	4.103	20.441	4.106	20.449	4.286	20.451	20.444	20.388

**Tabela A2.18 – Estatística Descritiva – ETA\_18-P-FD-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	86,77	13,23	0,80	42,12	2,52	6,33	7,46	1,24	0,75
Mediana	87,00	3,66	0,60	10,00	2,50	6,40	7,30	1,20	0,75
Mínimo	3,00	0,33	0,00	0,20	2,50	2,00	2,00	0,20	0,07
Máximo	97,00	602,00	7,70	2.400,00	15,00	11,40	9,40	2,00	0,90
Percentil 10%	84,00	2,01	0,37	5,00	2,50	6,10	7,00	1,20	0,72
Percentil 25%	86,00	2,50	0,45	7,00	2,50	6,30	7,10	1,20	0,73
Percentil 75%	88,00	10,10	0,86	30,00	2,50	6,40	7,70	1,30	0,76
Percentil 90%	90,00	34,00	1,37	100,00	2,50	6,40	8,20	1,30	0,78
Percentil 95%	91,00	63,72	2,00	193,73	2,50	6,50	8,50	1,40	0,80
CA <sup>1</sup>	-9,91	6,85	3,65	9,97	18,56	-0,97	0,60	-0,27	-1,59
DP <sup>2</sup>	41,49	27,81	0,69	108,50	0,23	0,26	0,48	0,09	0,03
CV <sup>3</sup>	0,48	2,10	0,87	2,58	0,09	0,04	0,07	0,07	0,04
Nº dados	5.662	4.679	23.077	4.666	17.742	4.601	23.068	23.078	23.047

**Tabela A2.19 – Estatística Descritiva – ETA\_19-P-CN-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	76,38	2,80	0,83	34,73	2,72	6,02	6,92	1,70	0,75
Mediana	84,00	1,61	0,78	20,00	2,50	6,10	6,80	1,70	0,75
Mínimo	0,10	0,06	0,06	0,60	1,00	2,40	2,00	0,20	0,00
Máximo	129,50	383,00	8,40	3.050,00	15,00	12,10	9,00	3,00	1,33
Percentil 10%	42,00	0,86	0,41	10,00	2,50	5,20	6,50	1,20	0,66
Percentil 25%	72,00	1,12	0,56	15,00	2,50	5,70	6,60	1,50	0,69
Percentil 75%	89,20	2,50	0,99	40,00	2,50	6,40	7,10	2,00	0,80
Percentil 90%	94,30	4,35	1,28	65,00	2,50	6,70	7,50	2,30	0,83
Percentil 95%	98,14	7,15	1,62	80,00	5,00	6,80	8,00	2,50	0,85
CA <sup>1</sup>	-1,26	22,89	2,30	25,25	5,27	-0,45	1,36	0,05	-0,09
DP <sup>2</sup>	21,39	7,34	0,42	68,03	0,86	0,58	0,50	0,43	0,08
CV <sup>3</sup>	0,28	2,62	0,51	1,96	0,32	0,10	0,07	0,26	0,10
Nº dados	10.912	22.530	21.538	6.369	17.180	21.486	21.454	21.533	21.496

**Tabela A2.20 – Estatística Descritiva – ETA\_20-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	95,55	45,81	0,26	174,80	2,50	6,96	6,56	1,28	0,71
Mediana	96,00	19,00	0,26	100,00	2,50	7,00	6,60	1,30	0,71
Mínimo	15,00	3,00	0,00	6,00	2,50	3,90	6,00	0,30	0,21
Máximo	202,00	1.360,00	6,09	3.800,00	2,50	7,40	7,00	1,50	0,82
Percentil 10%	66,00	7,00	0,07	50,00	2,50	6,90	6,50	1,20	0,70
Percentil 25%	85,00	11,00	0,17	60,00	2,50	6,90	6,50	1,30	0,70
Percentil 75%	107,00	43,00	0,33	150,00	2,50	7,00	6,60	1,30	0,72
Percentil 90%	120,00	96,00	0,43	358,00	2,50	7,10	6,70	1,40	0,72
Percentil 95%	130,00	171,00	0,48	580,00	2,50	7,10	6,70	1,40	0,73
CA <sup>1</sup>	-0,37	6,04	3,78	5,82	-	-6,03	-0,10	-1,51	-2,59
DP <sup>2</sup>	21,94	88,12	0,14	267,59	0,00	0,11	0,08	0,10	0,01
CV <sup>3</sup>	0,23	1,92	0,54	1,53	0,00	0,02	0,01	0,08	0,02
Nº dados	7.438	4.296	22.522	4.293	22.526	4.288	22.525	22.512	22.522

**Tabela A2.21 – Estatística Descritiva – ETA\_21-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	94,81	28,80	0,74	128,98	2,50	6,84	7,04	1,23	0,75
Mediana	95,30	19,00	0,74	100,00	2,50	6,90	7,00	1,20	0,75
Mínimo	29,10	5,00	0,20	1,40	2,50	6,00	4,10	0,70	0,60
Máximo	156,40	1.480,00	4,58	2.400,00	5,00	7,50	8,40	1,70	0,90
Percentil 10%	83,20	10,00	0,49	80,00	2,50	6,60	6,70	1,10	0,68
Percentil 25%	89,60	13,00	0,59	100,00	2,50	6,70	6,90	1,20	0,70
Percentil 75%	100,90	27,00	0,90	120,00	2,50	7,00	7,20	1,30	0,80
Percentil 90%	105,90	55,00	0,98	200,00	2,50	7,00	7,30	1,40	0,83
Percentil 95%	109,00	83,00	0,99	240,00	2,50	7,10	7,40	1,40	0,84
CA <sup>1</sup>	-0,37	10,60	3,11	6,50	56,10	-0,40	-0,04	0,15	0,02
DP <sup>2</sup>	9,25	43,06	0,21	73,91	0,04	0,18	0,23	0,11	0,06
CV <sup>3</sup>	0,10	1,50	0,29	0,57	0,02	0,03	0,03	0,09	0,07
Nº dados	9.256	17.799	19.024	17.798	19.023	17.561	18.696	19.015	16.769

**Tabela A2.22 – Estatística Descritiva – ETA\_22-P-FD-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	99,84	33,81	0,19	225,22	1,00	6,99	7,04	1,26	0,74
Mediana	100,00	13,30	0,20	85,00	1,00	7,00	7,00	1,30	0,74
Mínimo	20,40	1,20	0,00	1,00	1,00	3,60	6,10	0,70	0,20
Máximo	126,80	2.435,00	7,00	4.000,00	2,50	8,10	8,50	1,50	0,90
Percentil 10%	98,40	5,20	0,10	35,00	1,00	6,50	6,80	1,10	0,70
Percentil 25%	99,80	7,40	0,15	50,00	1,00	6,80	6,90	1,20	0,71
Percentil 75%	100,00	30,00	0,23	200,00	1,00	7,20	7,20	1,30	0,78
Percentil 90%	100,98	67,45	0,25	0,00	1,00	7,40	7,30	1,40	0,80
Percentil 95%	102,40	120,00	0,25	900,00	1,00	7,50	7,30	1,50	0,83
CA <sup>1</sup>	-13,31	9,40	45,81	4,38	47,14	-0,46	0,22	-0,11	0,43
DP <sup>2</sup>	2,57	77,13	0,09	408,57	0,03	0,35	0,21	0,13	0,04
CV <sup>3</sup>	0,03	2,28	0,46	1,81	0,03	0,05	0,03	0,10	0,06
Nº dados	6.953	24.436	24.474	13.264	24.471	9.934	24.470	24.465	24.465

**Tabela A2.23 – Estatística Descritiva – ETA\_23-P-DF-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	93,12	6,43	0,60	32,43	2,50	7,42	6,81	1,38	0,71
Mediana	89,00	4,34	0,53	30,00	2,50	7,50	6,80	1,40	0,70
Mínimo	8,00	0,81	0,02	1,50	1,00	2,60	6,00	0,40	0,47
Máximo	133,80	228,60	7,76	4.000,00	5,00	10,20	8,90	1,90	0,89
Percentil 10%	83,30	2,23	0,27	30,00	2,50	7,10	6,60	1,30	0,67
Percentil 25%	89,00	2,79	0,37	30,00	2,50	7,30	6,70	1,30	0,68
Percentil 75%	97,20	7,66	0,74	30,00	2,50	7,60	6,90	1,40	0,73
Percentil 90%	113,53	12,40	0,92	40,00	2,50	7,70	7,00	1,50	0,76
Percentil 95%	115,00	16,90	1,13	40,00	2,50	7,80	7,00	1,50	0,78
CA <sup>1</sup>	0,63	7,39	4,36	121,34	21,24	-2,69	0,30	0,31	1,13
DP <sup>2</sup>	10,26	6,89	0,38	31,68	0,06	0,34	0,17	0,09	0,04
CV <sup>3</sup>	0,11	1,07	0,64	0,98	0,02	0,05	0,02	0,06	0,05
Nº dados	8.508	16.226	23.971	16.191	17.994	16.182	23.952	23.958	23.919

**Tabela A2.24 – Estatística Descritiva – ETA\_24-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	89,67	51,06	0,36	122,74	2,50	6,69	6,76	1,10	0,75
Mediana	90,20	18,70	0,36	80,00	2,50	6,70	6,80	1,10	0,75
Mínimo	0,10	1,10	0,00	2,50	2,50	2,50	6,00	0,60	0,00
Máximo	122,60	2.600,00	3,00	3.400,00	5,00	7,30	7,40	1,60	1,10
Percentil 10%	82,70	10,80	0,28	60,00	2,50	6,50	6,50	0,90	0,70
Percentil 25%	85,00	12,80	0,31	60,00	2,50	6,60	6,60	1,00	0,72
Percentil 75%	96,70	34,70	0,40	120,00	2,50	6,80	6,90	1,20	0,79
Percentil 90%	100,60	129,00	0,44	200,00	2,50	6,90	7,00	1,30	0,80
Percentil 95%	100,60	238,00	0,47	300,00	2,50	6,90	7,00	1,30	0,85
CA <sup>1</sup>	-2,34	6,28	3,44	8,77	143,58	-2,51	-0,05	-0,30	-0,21
DP <sup>2</sup>	9,19	97,92	0,07	164,09	0,02	0,18	0,17	0,15	0,05
CV <sup>3</sup>	0,10	1,92	0,19	1,34	0,01	0,03	0,03	0,14	0,06
Nº dados	6.409	6.980	20.723	6.802	20.615	6.940	20.624	20.717	20.021

**Tabela A2.25 – Estatística Descritiva – ETA\_25-P-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	113,89	11,14	0,26	54,50	2,50	7,17	7,52	1,47	0,77
Mediana	115,00	3,60	0,30	17,50	2,50	7,00	7,50	1,50	0,78
Mínimo	17,50	1,00	0,00	1,00	2,50	2,90	2,50	1,00	0,30
Máximo	140,00	1.500,00	5,00	3.775,00	5,00	8,90	8,50	1,90	0,89
Percentil 10%	100,00	2,10	0,20	10,00	2,50	6,80	7,30	1,40	0,75
Percentil 25%	110,00	2,80	0,20	15,00	2,50	6,80	7,40	1,50	0,76
Percentil 75%	120,00	5,30	0,30	25,00	2,50	7,40	7,60	1,50	0,79
Percentil 90%	125,00	13,30	0,30	65,00	2,50	8,00	7,70	1,50	0,80
Percentil 95%	130,00	35,00	0,40	177,50	2,50	8,10	7,80	1,50	0,80
CA <sup>1</sup>	-1,18	12,02	9,26	9,21	91,97	0,84	-6,37	-1,76	-2,08
DP <sup>2</sup>	10,13	41,15	0,10	186,37	0,03	0,48	0,21	0,05	0,02
CV <sup>3</sup>	0,09	3,69	0,38	3,42	0,01	0,07	0,03	0,03	0,03
Nº dados	5.824	19.815	19.835	19.073	20.056	20.008	20.056	20.051	19.835

**Tabela A2.26 – Estatística Descritiva – ETA\_26-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	130,31	46,82	1,33	162,77	2,64	6,60	6,96	1,18	0,74
Mediana	142,30	13,40	1,21	70,00	2,50	6,60	7,10	1,10	0,74
Mínimo	0,10	1,00	0,00	0,90	2,50	3,50	2,20	0,00	0,00
Máximo	199,60	4.000,00	6,98	4.000,00	15,00	9,90	9,00	2,00	2,00
Percentil 10%	84,40	6,55	0,98	30,00	2,50	6,40	6,10	0,90	0,68
Percentil 25%	118,80	8,61	1,10	40,00	2,50	6,50	6,70	1,00	0,71
Percentil 75%	149,60	22,70	1,47	100,00	2,50	6,70	7,30	1,40	0,77
Percentil 90%	152,00	70,00	1,78	280,00	2,50	6,80	7,40	1,50	0,79
Percentil 95%	153,00	156,00	1,96	590,40	5,00	6,80	7,50	1,50	0,80
CA <sup>1</sup>	-1,18	10,34	4,02	6,11	6,53	0,72	-1,26	0,06	0,66
DP <sup>2</sup>	25,89	163,76	0,44	388,98	0,69	0,19	0,50	0,23	0,08
CV <sup>3</sup>	0,20	3,50	0,33	2,39	0,26	0,03	0,07	0,19	0,11
Nº dados	11.723	22.532	22.767	21.299	22.777	21.972	22.711	22.714	22.335

**Tabela A2.27 – Estatística Descritiva – ETA\_27-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	145,10	75,49	0,20	165,32	2,50	7,15	7,11	1,12	0,76
Mediana	151,00	23,12	0,20	60,00	2,50	7,20	7,10	1,10	0,75
Mínimo	0,70	0,17	0,00	1,00	2,50	2,50	6,00	0,00	0,65
Máximo	190,00	3.960,00	7,40	4.000,00	8,50	9,40	8,10	1,50	0,85
Percentil 10%	110,00	8,30	0,14	25,00	2,50	6,90	7,00	1,00	0,74
Percentil 25%	145,00	13,70	0,17	40,00	2,50	7,00	7,00	1,00	0,75
Percentil 75%	156,00	53,00	0,23	120,00	2,50	7,30	7,20	1,20	0,77
Percentil 90%	160,00	170,00	0,25	370,00	2,50	7,40	7,30	1,20	0,78
Percentil 95%	162,00	311,15	0,25	650,00	2,50	7,40	7,40	1,30	0,79
CA <sup>1</sup>	-1,82	8,03	32,96	5,84	92,53	-1,69	0,26	-0,06	0,18
DP <sup>2</sup>	18,58	188,63	0,20	348,12	0,05	0,21	0,15	0,10	0,02
CV <sup>3</sup>	0,13	2,50	1,01	2,11	0,02	0,03	0,02	0,09	0,03
Nº dados	6.612	6.418	18.599	6.348	18.608	6.072	18.579	18.593	18.577

**Tabela A2.28 – Estatística Descritiva – ETA\_28-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	145,10	75,49	0,20	165,32	2,50	7,15	7,11	1,12	0,76
Mediana	151,00	23,12	0,20	60,00	2,50	7,20	7,10	1,10	0,75
Mínimo	0,70	0,17	0,00	1,00	2,50	2,50	6,00	0,00	0,65
Máximo	190,00	3.960,00	7,40	4.000,00	8,50	9,40	8,10	1,50	0,85
Percentil 10%	110,00	8,30	0,14	25,00	2,50	6,90	7,00	1,00	0,74
Percentil 25%	145,00	13,70	0,17	40,00	2,50	7,00	7,00	1,00	0,75
Percentil 75%	156,00	53,00	0,23	120,00	2,50	7,30	7,20	1,20	0,77
Percentil 90%	160,00	170,00	0,25	370,00	2,50	7,40	7,30	1,20	0,78
Percentil 95%	162,00	311,15	0,25	650,00	2,50	7,40	7,40	1,30	0,79
CA <sup>1</sup>	-1,82	8,03	32,96	5,84	92,53	-1,69	0,26	-0,06	0,18
DP <sup>2</sup>	18,58	188,63	0,20	348,12	0,05	0,21	0,15	0,10	0,02
CV <sup>3</sup>	0,13	2,50	1,01	2,11	0,02	0,03	0,02	0,09	0,03
Nº dados	6.612	6.418	18.599	6.348	18.608	6.072	18.579	18.593	18.577

**Tabela A2.29 – Estatística Descritiva – ETA\_29-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	152,71	70,40	0,30	289,26	1,03	6,93	6,73	1,15	0,75
Mediana	162,10	20,90	0,26	100,00	1,00	6,90	6,60	1,10	0,75
Mínimo	1,00	2,73	0,02	1,00	1,00	5,30	6,00	0,50	0,50
Máximo	177,40	2.145,00	5,00	4.000,00	12,00	8,70	8,80	2,00	1,10
Percentil 10%	132,60	9,95	0,17	50,00	1,00	6,70	6,50	0,90	0,67
Percentil 25%	132,60	13,70	0,20	70,00	1,00	6,80	6,50	1,00	0,71
Percentil 75%	171,30	56,00	0,33	250,00	1,00	7,00	6,80	1,30	0,80
Percentil 90%	171,30	169,00	0,43	800,00	1,00	7,20	7,10	1,40	0,84
Percentil 95%	174,40	310,00	0,50	1200,00	1,00	7,30	7,30	1,50	0,85
CA <sup>1</sup>	-0,33	5,65	9,49	3,82	17,14	1,48	1,65	0,27	0,06
DP <sup>2</sup>	18,90	148,61	0,20	501,88	0,40	0,20	0,26	0,22	0,06
CV <sup>3</sup>	0,12	2,11	0,67	1,74	0,39	0,03	0,04	0,19	0,08
Nº dados	12.128	6.465	23.557	6.431	20.262	6.440	23.515	23.558	23.494

**Tabela A2.30 – Estatística Descritiva – ETA\_30-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	182,90	87,52	0,22	392,39	1,00	7,17	7,10	1,21	0,76
Mediana	182,60	28,00	0,23	180,00	1,00	7,20	7,20	1,20	0,76
Mínimo	5,50	0,60	0,09	7,00	1,00	5,60	6,50	0,50	0,65
Máximo	198,80	4.000,00	0,26	4.000,00	1,00	8,80	7,70	1,50	0,85
Percentil 10%	177,40	9,00	0,18	60,00	1,00	6,80	6,80	1,20	0,74
Percentil 25%	180,00	14,00	0,20	80,00	1,00	6,90	7,00	1,20	0,75
Percentil 75%	185,90	65,00	0,25	400,00	1,00	7,40	7,20	1,20	0,78
Percentil 90%	190,50	175,00	0,25	940,00	1,00	7,60	7,20	1,30	0,78
Percentil 95%	192,80	354,70	0,25	1550,00	1,00	7,70	7,20	1,30	0,79
CA <sup>1</sup>	-4,21	7,13	-1,42	3,36	-	-0,05	-1,51	1,39	-0,56
DP <sup>2</sup>	78,40	215,91	0,03	596,53	0,00	0,34	0,17	0,05	0,02
CV <sup>3</sup>	0,43	2,47	0,15	1,52	0,00	0,05	0,02	0,04	0,02
Nº dados	17.512	17.347	15.770	16.914	15.764	17.353	15.770	15.770	15.765

**Tabela A2.31 – Estatística Descritiva – ETA\_31-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	160,92	14,39	0,42	109,07	2,61	6,43	6,83	1,70	0,74
Mediana	165,00	9,15	0,34	80,00	2,50	6,40	6,80	1,70	0,73
Mínimo	10,00	1,12	0,07	2,50	1,00	3,40	2,00	0,00	0,00
Máximo	260,00	580,00	7,95	3.800,00	15,00	10,80	8,90	2,50	1,30
Percentil 10%	100,00	4,41	0,11	40,00	2,50	6,30	6,60	1,40	0,67
Percentil 25%	130,00	6,12	0,12	50,00	2,50	6,30	6,70	1,50	0,70
Percentil 75%	200,00	13,40	0,49	120,00	2,50	6,50	7,00	1,90	0,77
Percentil 90%	200,00	24,90	0,79	185,00	2,50	6,60	7,10	2,00	0,81
Percentil 95%	205,00	43,60	1,10	260,00	3,00	6,60	7,20	2,00	0,84
CA <sup>1</sup>	-0,43	7,33	4,54	10,79	10,29	1,57	0,10	-0,50	-0,19
DP <sup>2</sup>	37,19	20,92	0,44	127,75	0,74	0,14	0,22	0,25	0,06
CV <sup>3</sup>	0,23	1,45	1,06	1,17	0,28	0,02	0,03	0,14	0,08
Nº dados	12.032	22.202	21.737	22.159	17.702	22.201	21.722	21.743	21.686

**Tabela A2.32 – Estatística Descritiva – ETA\_32-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	350,46	279,70	0,44	319,66	2,51	7,10	7,31	1,19	0,76
Mediana	341,50	92,95	0,38	100,00	2,50	7,10	7,20	1,20	0,76
Mínimo	6,00	0,35	0,00	10,00	2,50	5,70	6,00	0,20	0,31
Máximo	430,00	3.885,00	8,60	4.000,00	5,00	7,90	9,00	2,20	1,30
Percentil 10%	295,00	16,00	0,23	20,00	2,50	6,80	7,00	1,00	0,70
Percentil 25%	314,00	26,48	0,29	30,00	2,50	7,00	7,10	1,00	0,72
Percentil 75%	395,00	375,00	0,50	400,00	2,50	7,30	7,40	1,30	0,79
Percentil 90%	406,00	840,00	0,69	1000,00	2,50	7,40	7,80	1,40	0,82
Percentil 95%	412,00	1083,40	0,86	1200,00	2,50	7,40	8,20	1,50	0,84
CA <sup>1</sup>	0,12	2,48	9,28	2,59	13,89	-0,38	1,63	-0,13	0,59
DP <sup>2</sup>	47,95	399,38	0,31	459,79	0,18	0,21	0,36	0,19	0,05
CV <sup>3</sup>	0,14	1,43	0,71	1,44	0,07	0,03	0,05	0,16	0,07
Nº dados	8.110	5.804	23.123	5.795	23.122	5.783	23.118	23.118	23.095

**Tabela A2.33 – Estatística Descritiva – ETA\_33-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	260,91	8,42	0,31	93,48	2,51	6,58	6,83	1,64	0,77
Mediana	262,00	6,50	0,28	100,00	2,50	6,60	6,90	1,50	0,78
Mínimo	57,00	0,60	0,01	2,50	2,50	2,50	5,00	0,50	0,00
Máximo	357,00	97,00	6,30	1.600,00	12,50	8,40	8,20	2,80	1,20
Percentil 10%	256,00	4,00	0,02	50,00	2,50	6,40	6,50	1,50	0,70
Percentil 25%	257,00	5,00	0,22	50,00	2,50	6,40	6,60	1,50	0,75
Percentil 75%	262,00	10,00	0,39	110,00	2,50	6,70	7,00	2,00	0,80
Percentil 90%	270,00	14,00	0,50	150,00	2,50	6,80	7,10	2,00	0,82
Percentil 95%	270,00	19,00	0,72	160,00	2,50	6,80	7,20	2,00	0,84
CA <sup>1</sup>	-3,91	4,66	2,85	5,73	25,54	-3,39	-0,04	0,99	-0,97
DP <sup>2</sup>	6,62	6,26	0,20	44,37	0,21	0,18	0,24	0,22	0,04
CV <sup>3</sup>	0,03	0,74	0,64	0,47	0,09	0,03	0,04	0,14	0,06
Nº dados	11.238	14.555	22.287	14.516	22.279	14.515	22.274	22.285	22.284

**Tabela A2.34 – Estatística Descritiva – ETA\_34-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	228,76	28,11	0,30	143,25	1,18	6,73	6,67	1,44	0,78
Mediana	230,20	14,00	0,24	70,00	1,00	6,70	6,70	1,50	0,79
Mínimo	9,90	0,90	0,01	2,50	1,00	5,70	6,30	0,50	0,41
Máximo	376,00	963,00	5,30	2.880,00	5,00	7,50	7,20	2,00	1,10
Percentil 10%	123,10	5,00	0,02	25,00	1,00	6,50	6,50	1,30	0,71
Percentil 25%	187,50	7,00	0,11	40,00	1,00	6,60	6,60	1,40	0,75
Percentil 75%	286,58	32,00	0,44	160,00	1,00	6,80	6,70	1,50	0,82
Percentil 90%	299,00	64,00	0,65	320,00	2,50	7,00	6,80	1,50	0,85
Percentil 95%	304,00	98,00	0,80	500,00	2,50	7,10	6,90	1,50	0,85
CA <sup>1</sup>	-0,52	5,57	2,74	4,32	2,54	0,18	0,71	-1,77	-0,53
DP <sup>2</sup>	63,72	42,34	0,28	207,58	0,50	0,18	0,11	0,11	0,05
CV <sup>3</sup>	0,28	1,51	0,91	1,45	0,42	0,03	0,02	0,08	0,06
Nº dados	14.698	8.592	21.237	8.583	17.542	8.603	21.325	21.321	21.313

**Tabela A2.35 – Estatística Descritiva – ETA\_35-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	273,35	45,17	0,70	113,61	2,99	7,04	7,98	1,52	0,76
Mediana	296,00	16,60	0,64	60,00	2,50	7,00	8,30	1,50	0,76
Mínimo	0,10	2,00	0,17	1,00	1,00	5,00	5,50	0,00	0,06
Máximo	405,00	3.960,00	6,10	4.000,00	10,00	7,90	9,30	2,80	1,20
Percentil 10%	209,00	5,80	0,38	20,00	2,50	6,80	6,70	1,20	0,70
Percentil 25%	231,00	8,80	0,47	30,00	2,50	6,90	7,20	1,30	0,73
Percentil 75%	320,00	40,40	0,85	135,00	2,50	7,20	8,60	1,70	0,79
Percentil 90%	333,00	70,40	1,10	225,00	5,00	7,30	8,80	2,00	0,82
Percentil 95%	352,00	126,00	1,30	300,00	5,00	7,40	8,90	2,00	0,84
CA <sup>1</sup>	-0,34	12,14	2,13	8,93	1,78	-0,33	-0,51	0,18	-0,17
DP <sup>2</sup>	55,70	138,31	0,33	195,83	1,02	0,22	0,80	0,29	0,05
CV <sup>3</sup>	0,20	3,06	0,47	1,72	0,34	0,03	0,10	0,19	0,06
Nº dados	12.744	11.361	21.860	11.331	17.829	11.346	21.832	21.855	21.860

**Tabela A2.36 – Estatística Descritiva – ETA\_36-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	181,25	48,79	0,63	140,83	1,00	7,17	7,56	1,30	0,75
Mediana	218,00	25,00	0,56	60,00	1,00	7,20	7,60	1,30	0,75
Mínimo	5,00	0,50	0,05	1,30	1,00	3,00	6,70	0,30	0,07
Máximo	354,00	1.602,00	7,52	3.800,00	5,00	8,70	8,00	1,60	1,24
Percentil 10%	45,00	8,05	0,43	20,00	1,00	7,00	7,50	1,20	0,75
Percentil 25%	85,00	12,40	0,48	31,00	1,00	7,00	7,50	1,30	0,75
Percentil 75%	255,00	48,00	0,80	138,00	1,00	7,30	7,60	1,30	0,75
Percentil 90%	280,00	100,00	0,89	300,00	1,00	7,30	7,60	1,30	0,75
Percentil 95%	285,00	180,00	0,91	528,00	1,00	7,30	7,60	1,50	0,75
CA <sup>1</sup>	-0,48	5,47	4,50	5,30	50,00	-2,69	-3,23	0,69	-48,49
DP <sup>2</sup>	90,79	80,77	0,20	251,03	0,05	0,15	0,09	0,07	0,01
CV <sup>3</sup>	0,50	1,66	0,31	1,78	0,05	0,02	0,01	0,06	0,01
Nº dados	12.261	13.346	21.875	13.340	21.667	13.346	21.870	21.875	21.875

**Tabela A2.37 – Estatística Descritiva – ETA\_37-M-CN-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	287,30	28,99	0,48	60,36	3,65	7,40	7,44	1,66	0,74
Mediana	293,00	3,58	0,46	12,50	2,50	7,40	7,50	1,60	0,75
Mínimo	5,00	0,22	0,07	2,00	1,00	6,00	6,00	0,50	0,58
Máximo	517,00	3.350,00	2,94	3.750,00	7,50	14,00	8,00	2,80	1,00
Percentil 10%	220,00	1,17	0,22	7,50	2,50	7,20	7,20	1,50	0,70
Percentil 25%	253,00	1,84	0,34	10,00	2,50	7,30	7,30	1,50	0,72
Percentil 75%	326,00	15,30	0,59	37,50	5,00	7,50	7,60	1,80	0,77
Percentil 90%	352,00	63,30	0,74	125,00	5,00	7,60	7,70	1,90	0,79
Percentil 95%	363,00	133,60	0,83	250,00	5,00	7,70	7,70	2,00	0,80
CA <sup>1</sup>	-0,81	11,74	1,01	9,06	0,11	6,59	-0,86	-0,12	-0,07
DP <sup>2</sup>	54,08	101,34	0,21	180,37	1,27	0,22	0,20	0,20	0,04
CV <sup>3</sup>	0,19	3,50	0,43	2,99	0,35	0,03	0,03	0,12	0,05
Nº dados	18.587	8.549	23.768	8.120	23.768	7.593	23.764	23.764	23.767

**Tabela A2.38 – Estatística Descritiva – ETA\_38-M-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	313,56	75,10	0,28	196,68	2,54	6,98	7,15	1,39	0,76
Mediana	335,00	13,70	0,23	70,00	2,50	7,00	7,20	1,40	0,76
Mínimo	24,60	0,12	0,05	1,70	1,00	5,00	6,40	0,20	0,00
Máximo	462,20	2.900,00	6,22	4.000,00	15,00	9,30	9,40	2,50	1,17
Percentil 10%	178,30	5,94	0,14	40,00	2,50	6,70	6,80	1,20	0,69
Percentil 25%	298,20	8,14	0,17	40,00	2,50	6,90	6,90	1,30	0,73
Percentil 75%	357,40	34,65	0,33	120,00	2,50	7,10	7,30	1,50	0,80
Percentil 90%	368,60	174,00	0,46	400,00	2,50	7,20	7,50	1,50	0,84
Percentil 95%	374,30	389,20	0,50	800,00	2,50	7,30	7,60	1,50	0,85
CA <sup>1</sup>	-1,33	5,63	6,45	4,84	15,76	-0,43	0,72	-1,65	-0,66
DP <sup>2</sup>	64,23	205,44	0,19	402,09	0,49	0,22	0,31	0,13	0,05
CV <sup>3</sup>	0,20	2,74	0,68	2,04	0,19	0,03	0,04	0,09	0,07
Nº dados	13.199	5.919	22.066	5.903	15.578	5.892	22.063	22.066	22.028

**Tabela A2.39 – Estatística Descritiva – ETA\_39-G-CN-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	466,11	60,10	0,19	121,93	1,00	6,94	8,07	1,29	0,74
Mediana	460,00	4,20	0,20	10,00	1,00	7,00	8,10	1,30	0,73
Mínimo	2,80	0,13	0,01	0,00	1,00	5,90	6,50	0,70	0,06
Máximo	780,00	3.500,00	7,80	4.000,00	2,50	8,10	9,40	2,50	1,50
Percentil 10%	320,00	1,50	0,14	5,00	1,00	6,80	7,50	1,20	0,68
Percentil 25%	400,00	2,00	0,17	5,00	1,00	6,90	7,80	1,20	0,70
Percentil 75%	540,00	40,00	0,22	80,00	1,00	7,00	8,40	1,40	0,78
Percentil 90%	615,00	151,80	0,23	300,00	1,00	7,10	8,60	1,40	0,81
Percentil 95%	650,00	280,00	0,24	600,00	1,00	7,20	8,70	1,50	0,83
CA <sup>1</sup>	-0,02	7,88	62,76	6,06	88,98	0,05	-0,55	0,20	-0,21
DP <sup>2</sup>	108,81	180,11	0,08	334,90	0,02	0,16	0,44	0,11	0,05
CV <sup>3</sup>	0,23	3,00	0,41	2,75	0,02	0,02	0,05	0,08	0,07
Nº dados	16.986	7.562	23.759	7.394	23.758	6.065	23.757	23.758	23.707

**Tabela A2.40 – Estatística Descritiva – ETA\_40-G-CN-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	570,08	28,31	0,50	72,61	2,63	7,62	7,07	2,15	0,74
Mediana	595,00	3,74	0,35	17,50	2,50	7,70	7,10	2,00	0,74
Mínimo	100,00	0,81	0,04	2,00	1,00	6,20	2,00	0,70	0,60
Máximo	882,00	2.600,00	9,99	3.980,00	15,00	9,70	8,40	3,50	0,90
Percentil 10%	388,00	1,87	0,21	12,50	1,00	7,20	6,80	1,50	0,70
Percentil 25%	565,00	2,48	0,26	15,00	2,50	7,40	6,90	1,70	0,72
Percentil 75%	618,00	9,64	0,48	30,00	2,50	7,80	7,20	2,70	0,75
Percentil 90%	630,00	48,10	1,05	200,00	5,00	7,90	7,30	2,80	0,77
Percentil 95%	635,00	95,00	1,54	250,00	5,00	8,00	7,60	2,80	0,79
CA <sup>1</sup>	-1,96	9,74	4,22	9,41	1,98	-0,24	0,35	0,19	0,04
DP <sup>2</sup>	79,67	123,17	0,51	245,61	1,34	0,28	0,28	0,49	0,03
CV <sup>3</sup>	0,14	4,35	1,00	3,38	0,51	0,04	0,04	0,23	0,04
Nº dados	11.771	5.691	25.615	5.633	25.608	5.592	25.621	25.621	25.613

**Tabela A2.41 – Estatística Descritiva – ETA\_41-G-OF-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	734,83	1,51	0,18	5,46	2,23	7,10	7,09	1,08	0,75
Mediana	787,00	1,37	0,18	5,00	2,50	7,00	7,10	1,10	0,74
Mínimo	0,10	0,01	0,01	1,00	1,00	2,90	2,20	0,00	0,36
Máximo	942,10	81,15	2,50	803,70	5,00	10,00	8,90	1,70	2,82
Percentil 10%	567,00	0,91	0,11	5,00	1,00	6,50	6,60	1,00	0,71
Percentil 25%	581,80	1,10	0,14	5,00	2,50	6,80	6,90	1,00	0,72
Percentil 75%	803,70	1,71	0,21	5,00	2,50	7,30	7,30	1,20	0,77
Percentil 90%	820,60	2,06	0,23	5,00	2,50	7,70	7,60	1,30	0,80
Percentil 95%	854,70	2,48	0,25	5,00	2,50	8,10	7,80	1,30	0,82
CA <sup>1</sup>	-0,86	39,00	11,96	48,65	-1,64	1,50	0,13	-0,54	8,06
DP <sup>2</sup>	111,94	1,48	0,06	15,03	0,58	0,54	0,38	0,15	0,04
CV <sup>3</sup>	0,15	0,98	0,34	2,75	0,26	0,08	0,05	0,14	0,06
Nº dados	4.742	4.487	14.430	4.650	15.281	4.648	15.269	15.273	15.235

**Tabela A2.42 – Estatística Descritiva – ETA\_42-G-CF-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		Ph		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	978,03	2,97	0,28	15,67	1,04	7,39	6,82	1,73	0,74
Mediana	985,95	2,30	0,24	15,00	1,00	7,40	6,80	1,80	0,74
Mínimo	207,70	0,25	0,00	1,00	1,00	4,50	5,50	0,10	0,53
Máximo	1563,70	67,00	3,04	165,00	15,00	12,80	9,10	2,90	1,09
Percentil 10%	713,90	1,11	0,14	7,50	1,00	7,00	6,40	1,40	0,70
Percentil 25%	790,00	1,60	0,19	10,00	1,00	7,20	6,60	1,60	0,72
Percentil 75%	1080,00	3,30	0,33	20,00	1,00	7,60	7,00	2,00	0,76
Percentil 90%	1420,00	4,90	0,45	25,00	1,00	7,90	7,20	2,00	0,78
Percentil 95%	1450,00	7,50	0,53	30,00	1,00	8,00	7,40	2,10	0,80
CA <sup>1</sup>	0,48	6,13	2,22	2,97	14,78	0,84	1,00	-0,69	0,22
DP <sup>2</sup>	249,08	2,73	0,14	9,06	0,40	0,33	0,35	0,26	0,03
CV <sup>3</sup>	0,25	0,92	0,51	0,58	0,38	0,05	0,05	0,15	0,04
Nº dados	8.980	17.937	29.877	17.916	29.877	17.820	29.879	29.879	29.868

**Tabela A2.43 – Estatística Descritiva – ETA\_43-G-FD-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	1699,01	9,33	0,31	37,36	1,01	6,74	8,39	1,57	0,75
Mediana	1860,00	5,10	0,20	20,00	1,00	6,80	8,60	1,60	0,75
Mínimo	427,80	0,73	0,06	1,00	1,00	2,20	5,80	0,30	0,12
Máximo	3200,00	112,00	9,70	2.000,00	15,00	7,50	9,70	2,50	1,00
Percentil 10%	627,80	1,60	0,13	7,50	1,00	6,40	7,30	1,30	0,69
Percentil 25%	720,00	2,60	0,16	12,50	1,00	6,60	8,10	1,50	0,72
Percentil 75%	2500,00	10,40	0,25	40,00	1,00	6,90	8,80	1,70	0,78
Percentil 90%	2880,00	22,20	0,49	75,00	1,00	7,00	9,00	1,80	0,81
Percentil 95%	2970,00	30,80	0,79	150,00	1,00	7,10	9,20	1,90	0,83
CA <sup>1</sup>	0,02	3,09	9,35	17,63	30,16	-0,87	-0,94	-0,51	-0,09
DP <sup>2</sup>	846,58	11,83	0,52	70,75	0,30	0,28	0,64	0,21	0,05
CV <sup>3</sup>	0,50	1,27	1,70	1,89	0,29	0,04	0,08	0,13	0,06
Nº dados	15.570	22.624	25.295	7.824	25.325	15.619	25.294	25.296	25.294

**Tabela A2.44 – Estatística Descritiva – ETA\_44-G-CN-E**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	3956,12	31,62	0,18	84,74	1,00	6,97	8,04	1,22	0,74
Mediana	4130,00	12,00	0,14	40,00	1,00	6,90	8,10	1,20	0,74
Mínimo	0,10	0,13	0,00	0,00	1,00	6,10	5,70	0,00	0,00
Máximo	6300,00	2.938,00	9,10	3.500,00	15,00	10,30	10,10	2,80	1,00
Percentil 10%	2687,00	2,00	0,09	5,00	1,00	6,70	7,00	1,10	0,69
Percentil 25%	3215,00	4,80	0,11	17,50	1,00	6,80	7,40	1,20	0,72
Percentil 75%	4555,00	30,00	0,20	80,00	1,00	7,10	8,80	1,30	0,76
Percentil 90%	5050,00	69,11	0,30	175,00	1,00	7,30	9,10	1,30	0,79
Percentil 95%	5300,00	110,00	0,42	260,00	1,00	7,40	9,10	1,40	0,81
CA <sup>1</sup>	-0,60	15,08	14,42	8,53	51,75	2,52	-0,14	-0,66	-1,12
DP <sup>2</sup>	930,56	85,42	0,15	181,13	0,14	0,28	0,75	0,12	0,04
CV <sup>3</sup>	0,24	2,70	0,85	2,14	0,14	0,04	0,09	0,09	0,06
Nº dados	14.511	6.360	29.875	6.332	29.887	6.274	29.878	29.878	29.874

**Tabela A2.45 – Estatística Descritiva – ETA\_45-G-CN-O**

Descrição	Vazão (L/s)	Turbidez (uT)		Cor (uH)		pH		Cloro (mg/L)	Flúor (mg/L)
		AB	AT	AB	AT	AB	AT	AT	AT
Média	6146,94	178,33	0,19	227,97	1,00	7,37	8,69	1,35	0,73
Mediana	6300,00	52,00	0,17	45,00	1,00	7,40	8,70	1,40	0,73
Mínimo	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	4,20	5,20	0,30	0,00
Máximo	9206,00	4.000,00	8,90	4.000,00	15,00	9,20	9,30	2,10	1,20
Percentil 10%	4650,00	6,70	0,10	12,50	1,00	7,10	8,20	1,20	0,67
Percentil 25%	5410,00	13,35	0,13	20,00	1,00	7,30	8,50	1,30	0,70
Percentil 75%	7060,00	198,00	0,23	175,00	1,00	7,50	8,90	1,50	0,77
Percentil 90%	7600,00	480,00	0,31	600,00	1,00	7,60	9,10	1,50	0,80
Percentil 95%	7750,00	740,00	0,37	1200,00	1,00	7,70	9,20	1,50	0,82
CA <sup>1</sup>	-0,77	4,62	22,53	3,85	129,91	-1,06	-0,98	-0,60	-2,46
DP <sup>2</sup>	1182,77	337,06	0,12	479,58	0,09	0,23	0,36	0,14	0,06
CV <sup>3</sup>	0,19	1,89	0,61	2,10	0,09	0,03	0,04	0,10	0,08
Nº dados	19.683	8.295	29.879	5.644	29.908	6.858	29.384	29.878	29.349

## APÊNDICE 3 - Resultados dos testes de comparações múltiplas por porte e manancial

Figura A3.1 – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, para ETA de pequeno porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

<b>TURBIDEZ</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
	↓	↓	↓	<i>01</i>
↑		↓	↓	<i>07</i>
↑	↑		↑	<i>19</i>
↑	↑	↓		<i>23</i>

<b>COR</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
	↓	↓	↓	<i>01</i>
↑		↑	↑	<i>07</i>
↑	↓		↑	<i>19</i>
↑	↓	↓		<i>23</i>

<b>pH</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
	↓	↓	↓	<i>01</i>
↑		↑	↑	<i>07</i>
↑	↓		↑	<i>19</i>
↑	↓	↓		<i>23</i>

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.2** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de pequeno porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

<b>TURBIDEZ</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>01</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>07</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>19</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>23</i>

<b>COR</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<i>01</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>07</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>19</i>
<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>23</i>

<b>pH</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>01</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>07</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>19</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>23</i>

<b>COLORO</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>01</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>07</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>19</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>23</i>

<b>FLÚOR</b>				
<b>01</b>	<b>07</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>01</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>07</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>19</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>23</i>

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.3** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, para ETA de pequeno porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

TURBIDEZ																		
02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
<b>↓</b>	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	02
↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	04
↑	↑	<b>↓</b>	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	05
↑	↑	↑	<b>↓</b>	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	06
↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	08
↓	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	09
↑	↑	↑	↑	↓	↑	<b>↓</b>	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	10
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	<b>↓</b>	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	11
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	13
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	14
↑	↑	=	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	<b>↓</b>	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	15
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	<b>↓</b>	↓	↑	↑	↑	↑	↓	17
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↑	↓	18
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↑	↓	↓	↓	20
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	21
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↓	22
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	<b>↓</b>	↓	24
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	25

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

COR																		
02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	02
↑	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	04
↑	↑	<b>↓</b>	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	05
↑	↑	↓	<b>↓</b>	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	06
↑	↑	↓	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	08
↓	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	09
↑	↑	↓	↓	↓	↑	<b>↓</b>	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	10
↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	<b>↓</b>	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	11
↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	13
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	14
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	15
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↓	↑	↑	↑	↑	↓	17
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↑	↑	18
↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	20
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	<b>↓</b>	↓	↓	↓	21
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	<b>↓</b>	↓	↓	22
↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↓	24
↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	25

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

PH																ETA		
02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	02
↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	04
↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	05
↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	06
↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	08
↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	09
↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	10
↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	11
↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	13
↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	14
↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	15
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	17
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	18
↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	20
↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	21
↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	22
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	24
↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	25

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.4** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de pequeno porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

TURBIDEZ																ETA		
02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	02
↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	04
↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	05
↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	06
↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	08
↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	09
↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	10
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	11
↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	13
↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	14
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑	15
↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	17
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	18
↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	20
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	21
↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	22
↑	↑	=	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑	24
↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	25

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**COR**

02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	02
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	04
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	05
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	06
<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	08
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	09
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	10
<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	11
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>		<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	13
<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	14
<b>↓</b>	15																	
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	17								
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>		<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	18						
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>		<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	20
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>		<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	21
<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	22
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>		<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	24
<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>		<b>↑</b>	<b>=</b>	<b>=</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	25

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**PH**

02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
<b>↓</b>	02																	
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	04
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	05									
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	06
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	08
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	09
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	10
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	11									
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	13
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	14
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	15
<b>↑</b>	<b>↓</b>	17																
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	18
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	20												
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	21									
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	22
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	24												
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	25									

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**CLORO**

02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	02
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	04						
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	05											
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	06
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	08						
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	09											
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	10
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	11															
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	13								
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	14
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	15								
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	17
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	18
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	20
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	21
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	22
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	24						
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	25												

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**FLÚOR**

02	04	05	06	08	09	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	ETA
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	02											
<b>↓</b>	04																	
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	05						
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	06
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	08														
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	09
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	10
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	11
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	13
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	14
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	15									
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	17											
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	18
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	20												
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	21
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	22
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	24
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	25															

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.5** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente e pH da água bruta, para ETA de médio porte e manancial lótico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

**TURBIDEZ**

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	ETA
<b>↓</b>	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	26
↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	27
↓	↓	<b>↓</b>	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	28
↓	↓	↑	<b>↓</b>	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	29
↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	30
↑	↓	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↓	↑	↑	↑	↑	31
↓	↓	↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	↓	32
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↑	33
↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	<b>↓</b>	↑	↑	↓	34
↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	<b>↓</b>	↑	↓	35
↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	36
↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	<b>↓</b>	38

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**COR**

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	ETA
<b>↓</b>	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	26
↑	<b>↓</b>	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	27
↑	↓	<b>↓</b>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	28
↓	↓	↓	<b>↓</b>	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	29
↓	↓	↓	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	30
↓	↓	↓	↑	↑	<b>↓</b>	↑	↑	↓	↓	↓	↓	31
↓	↓	↓	↓	↑	↓	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	↓	32
↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	<b>↓</b>	↓	↓	↓	↓	33
↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↓	↓	↑	34
↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↓	↑	35
↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	<b>↓</b>	↑	36
↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	<b>↓</b>	38

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

PH												ETA
<b>26</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>26</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>27</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>28</i>						
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>29</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<i>30</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>31</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>32</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>33</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>34</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>35</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>36</i>						
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>38</i>

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.6** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de médio porte e manancial lóxico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

TURBIDEZ												ETA
<b>26</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>26</i>									
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>27</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>28</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>29</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>30</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>31</i>						
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>32</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>33</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>34</i>						
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>35</i>									
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>36</i>						
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>38</i>

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)  
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)  
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

### COR

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	ETA
<b></b>			↓	↓	=			↓		↓		26
	<b></b>		↓	↓				↓		↓		27
		<b></b>	↓	↓		=	=	↓		↓		28
↑	↑	↑	<b></b>	↓	↑	↑	↑		↑		↑	29
↑	↑	↑	↓	<b></b>	↑	↑	↑	↓	↑	=	↑	30
=			↓	↓	<b></b>	<b></b>		↓		↓		31
		=	↓	↓		=	<b></b>	↓		↓	=	32
		=	↓	↓			<b></b>	↓		↓	=	33
↑	↑	↑			↑	↑	↑	<b></b>	↑		↑	34
			↓	↓				↓	<b></b>			35
↑	↑	↑		=	↑	↑	↑		↑	<b></b>	↑	36
			↓	↓		=	=	↓		<b></b>	<b></b>	38

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

### PH

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	ETA
<b></b>	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	26
↑	<b></b>	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	27
↑	↓	<b></b>	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	28
↑	↑	↑	<b></b>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	29
↓	↑	↓	↓	<b></b>	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	30
↑	↑	↑	↓	↑	<b></b>	↑	↑	↓	↑	↑	↑	31
↓	↓	↓	↓	↓	↓	<b></b>	↓	↓	↑	↑	↑	32
↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑	<b></b>	↓	↑	↑	↑	33
↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	<b></b>	↑	↑	↑	34
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	<b></b>	↓	↓	35
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	<b></b>	↓	36
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	<b></b>	38

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

### CLORO

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	ETA
<b></b>	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	26
↓	<b></b>	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	27
↑	↑	<b></b>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	28
↑	↑	↓	<b></b>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	29
↓	↑	↓	↓	<b></b>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	30
↓	↓	↓	↓	↓	<b></b>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	31
↓	↑	↓	↓	↓	↑	<b></b>	↑	↑	↑	↑	↑	32
↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	<b></b>	↓	↓	↓	↓	33
↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	<b></b>	↑	↓	↓	34
↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	<b></b>	↓	↓	35
↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	<b></b>	↑	36
↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	<b></b>	38

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**FLÚOR**

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	ETA
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	26
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	27
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	28
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	29
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	30
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	31
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	32
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	33							
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	34							
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	35						
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	36
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	38

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.7 – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez e pH da água bruta, para ETA de grande porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )**

**TURBIDEZ**

39	40	41	42	43	44	ETA
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	39
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	40
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	41
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	42
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	43
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	44

**COR**

39	40	41	42	43	44	ETA
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	39
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	40
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	41
<b>=</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	42
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	43
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	44

pH							
39	40	41	42	43	44	ETA	
	↑	↑	↑	↓	↓	39	
↓		↓	↓	↓	↓	40	
↓	↑		↑	↓	↓	41	
↓	↑	↓		↓	↓	42	
↑	↑	↑	↑		↑	43	
↑	↑	↑	↑	↓		44	

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

**Figura A3.8** – Resultados do teste de comparações múltiplas dos parâmetros turbidez, cor aparente, pH, cloro e flúor da água tratada, para ETA de grande porte e manancial lântico, após diferença indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ( $p < 0,05$ )

TURBIDEZ							
39	40	41	42	43	44	ETA	
	↑	↓	↑	↑	↓	39	
↓		↓	↓	↓	↓	40	
↑	↑		↑	↑	↓	41	
↓	↑	↓		↓	↓	42	
↓	↑	↓	↑		↓	43	
↑	↑	↑	↑	↑		44	

COR							
39	40	41	42	43	44	ETA	
	↑	↑				39	
↓		↓				40	
↓	↑					41	
↓	↑	↑				42	
=	↑	↑				43	
=	↑	↑		=	=	44	

pH							
39	40	41	42	43	44	ETA	
	↑	↑	↑	↓	↓	39	
↓		↓	↓	↓	↓	40	
↓	↑		↑	↓	↓	41	
↓	↑	↓		↓	↓	42	
↑	↑	↑	↑		↑	43	
↑	↑	↑	↑	↓		44	

**CLORO**

<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>39</i>
<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>40</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<i>41</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>42</i>
<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<i>43</i>
<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>44</i>

**FLÚOR**

<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<i>ETA</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>39</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>40</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>41</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>42</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>43</i>
<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↓</b>	<b>↑</b>	<b>↓</b>	<i>44</i>

= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)

↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)

↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

## APÊNDICE 4 - Atendimento ao padrão

Tabela A4.1 – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2012

ETA / Padrão	5 uT	1 uT	0,5 uT	0,3 uT	0,1 uT
ETA_01-P-CN-E	100%	99%	94%	71%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	88%	14%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	97%	65%	23%	0%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	58%	5%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	100%	100%	69%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	98%	89%	4%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	98%	59%	0%
ETA_08-P-FD-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_09-P-CN-O	100%	100%	92%	76%	0%
ETA_10-P-CN-O	100%	100%	100%	57%	0%
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	97%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	100%	53%	2%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	98%	84%	17%	0%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	82%	23%	0%
ETA_15-P-CN-O	100%	84%	30%	4%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	97%	62%	0%
ETA_18-P-FD-O	99%	67%	9%	0%	0%
ETA_19-P-CN-E	100%	64%	6%	1%	0%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	97%	49%	0%
ETA_21-P-CN-O	100%	98%	7%	0%	0%
ETA_22-P-FD-O	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_23-P-DF-E	100%	99%	47%	3%	0%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	99%	36%	0%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	97%	76%	2%
ETA_26-M-CN-O	100%	6%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	99%	38%	0%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_29-M-CN-O	100%	100%	97%	77%	0%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_31-M-CN-O	100%	94%	65%	4%	0%
ETA_32-M-CN-O	100%	97%	63%	20%	0%
ETA_33-M-CN-O	100%	100%	96%	53%	0%
ETA_34-M-CN-O	100%	96%	57%	29%	0%
ETA_35-M-CN-O	100%	92%	60%	12%	0%
ETA_36-M-CN-O	100%	100%	0%	0%	0%
ETA_37-M-CN-E	100%	100%	88%	44%	0%
ETA_38-M-CN-O	100%	100%	93%	69%	3%
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	100%	1%
ETA_40-G-CN-E	100%	99%	76%	6%	0%
ETA_41-G-OF-E	-	-	-	-	-
ETA_42-G-CF-E	100%	99%	90%	66%	0%
ETA_43-G-FD-E	98%	92%	86%	78%	0%
ETA_44-G-CN-E	100%	100%	95%	77%	3%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	99%	90%	17%

**Tabela A4.2 – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2013**

ETA / Padrão	5 uT	1 uT	0,5 uT	0,3 uT	0,1 uT
ETA_01-P-CN-E	100%	99%	86%	22%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	86%	12%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	93%	58%	18%	1%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	51%	2%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	100%	97%	66%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	99%	96%	2%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	98%	51%	0%
ETA_08-P-FD-O	100%	100%	100%	94%	0%
ETA_09-P-CN-O	100%	98%	83%	70%	0%
ETA_10-P-CN-O	100%	99%	91%	30%	0%
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	73%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	93%	35%	0%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	99%	90%	17%	0%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	89%	30%	0%
ETA_15-P-CN-O	100%	89%	30%	2%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	99%	1%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	100%	91%	0%
ETA_18-P-FD-O	99%	65%	19%	1%	0%
ETA_19-P-CN-E	100%	68%	19%	5%	0%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	99%	74%	0%
ETA_21-P-CN-O	100%	96%	13%	0%	0%
ETA_22-P-FD-O	100%	100%	100%	97%	0%
ETA_23-P-DF-E	100%	91%	13%	0%	0%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	96%	7%	0%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	98%	57%	1%
ETA_26-M-CN-O	100%	18%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	100%	5%	0%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_29-M-CN-O	100%	100%	95%	66%	0%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_31-M-CN-O	100%	85%	46%	5%	0%
ETA_32-M-CN-O	100%	97%	67%	15%	0%
ETA_33-M-CN-O	100%	100%	99%	87%	65%
ETA_34-M-CN-O	100%	98%	70%	39%	9%
ETA_35-M-CN-O	100%	80%	11%	0%	0%
ETA_36-M-CN-O	100%	98%	2%	0%	0%
ETA_37-M-CN-E	100%	98%	62%	7%	0%
ETA_38-M-CN-O	100%	99%	85%	49%	1%
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_40-G-CN-E	100%	97%	91%	25%	0%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	98%	93%	0%
ETA_42-G-CF-E	100%	100%	100%	93%	3%
ETA_43-G-FD-E	100%	100%	99%	91%	0%
ETA_44-G-CN-E	100%	100%	100%	99%	32%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	100%	94%	3%

**Tabela A4.3 – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2014**

ETA / Padrão	5 uT	1 uT	0,5 uT	0,3 uT	0,1 uT
ETA_01-P-CN-E	100%	100%	93%	29%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	90%	13%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	94%	49%	10%	0%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	55%	6%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	99%	94%	4%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	99%	94%	4%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	92%	36%	0%
ETA_08-P-FD-O	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_09-P-CN-O	100%	99%	96%	93%	0%
ETA_10-P-CN-O	100%	96%	67%	5%	0%
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	91%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	92%	13%	0%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	99%	91%	41%	0%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	90%	27%	0%
ETA_15-P-CN-O	100%	86%	16%	0%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	98%	0%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	100%	94%	0%
ETA_18-P-FD-O	100%	93%	45%	2%	0%
ETA_19-P-CN-E	100%	81%	15%	1%	0%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	100%	99%	78%
ETA_21-P-CN-O	100%	99%	10%	0%	0%
ETA_22-P-FD-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_23-P-DF-E	100%	69%	9%	6%	0%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	96%	5%	0%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	98%	29%	0%
ETA_26-M-CN-O	100%	25%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	100%	3%	0%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	2%
ETA_29-M-CN-O	100%	98%	94%	61%	0%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_31-M-CN-O	100%	96%	87%	58%	0%
ETA_32-M-CN-O	100%	98%	76%	13%	0%
ETA_33-M-CN-O	100%	99%	88%	48%	7%
ETA_34-M-CN-O	100%	100%	92%	82%	15%
ETA_35-M-CN-O	100%	90%	45%	0%	0%
ETA_36-M-CN-O	100%	100%	31%	0%	0%
ETA_37-M-CN-E	100%	98%	43%	0%	0%
ETA_38-M-CN-O	100%	99%	93%	68%	1%
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	99%	2%
ETA_40-G-CN-E	100%	91%	85%	39%	0%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	100%	97%	0%
ETA_42-G-CF-E	100%	100%	96%	78%	2%
ETA_43-G-FD-E	100%	100%	96%	82%	1%
ETA_44-G-CN-E	100%	100%	99%	97%	12%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	99%	71%	2%

**Tabela A4.4 – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2015**

ETA / Padrão	5 uT	1 uT	0,5 uT	0,3 uT	0,1 uT
ETA_01-P-CN-E	100%	100%	93%	40%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	95%	15%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	82%	30%	5%	0%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	70%	13%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	100%	99%	4%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	99%	95%	0%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	97%	57%	0%
ETA_08-P-FD-O	100%	100%	99%	92%	0%
ETA_09-P-CN-O	100%	99%	93%	88%	0%
ETA_10-P-CN-O	100%	99%	83%	36%	0%
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	90%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	96%	59%	8%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	99%	84%	31%	0%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	66%	1%	0%
ETA_15-P-CN-O	100%	89%	6%	0%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	100%	89%	1%
ETA_18-P-FD-O	100%	95%	35%	1%	0%
ETA_19-P-CN-E	100%	87%	23%	3%	0%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	94%	87%	4%
ETA_21-P-CN-O	100%	97%	15%	0%	0%
ETA_22-P-FD-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_23-P-DF-E	100%	100%	97%	50%	3%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	100%	21%	0%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	93%	37%	0%
ETA_26-M-CN-O	100%	13%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	100%	54%	2%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	2%
ETA_29-M-CN-O	100%	99%	92%	51%	0%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_31-M-CN-O	100%	99%	97%	94%	0%
ETA_32-M-CN-O	100%	99%	82%	25%	0%
ETA_33-M-CN-O	100%	98%	60%	31%	0%
ETA_34-M-CN-O	100%	100%	83%	57%	10%
ETA_35-M-CN-O	100%	88%	20%	0%	0%
ETA_36-M-CN-O	100%	99%	69%	1%	0%
ETA_37-M-CN-E	100%	99%	52%	0%	0%
ETA_38-M-CN-O	100%	100%	95%	73%	1%
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	98%	0%
ETA_40-G-CN-E	100%	100%	91%	59%	0%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_42-G-CF-E	100%	100%	96%	70%	0%
ETA_43-G-FD-E	100%	100%	99%	88%	2%
ETA_44-G-CN-E	100%	99%	95%	85%	13%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	99%	92%	4%

**Tabela A4.5 – Atendimento a padrões de Turbidez – Ano 2016**

ETA / Padrão	5 uT	1 uT	0,5 uT	0,3 uT	0,1 uT
ETA_01-P-CN-E	100%	99%	89%	17%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	89%	10%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	57%	12%	1%	0%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	74%	2%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	100%	97%	0%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	99%	89%	0%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	99%	83%	0%
ETA_08-P-FD-O	100%	100%	100%	87%	0%
ETA_09-P-CN-O	100%	95%	79%	63%	0%
ETA_10-P-CN-O	100%	100%	80%	66%	0%
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	93%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	98%	77%	11%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	98%	85%	39%	0%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	58%	0%	0%
ETA_15-P-CN-O	100%	87%	33%	2%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	100%	83%	0%
ETA_18-P-FD-O	100%	91%	46%	3%	0%
ETA_19-P-CN-E	100%	77%	25%	9%	0%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	85%	4%	0%
ETA_21-P-CN-O	100%	97%	6%	0%	0%
ETA_22-P-FD-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_23-P-DF-E	100%	100%	89%	27%	0%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	100%	9%	0%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	94%	47%	0%
ETA_26-M-CN-O	100%	6%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	100%	57%	0%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_29-M-CN-O	100%	99%	84%	20%	0%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_31-M-CN-O	100%	96%	82%	57%	0%
ETA_32-M-CN-O	100%	98%	92%	64%	0%
ETA_33-M-CN-O	100%	98%	77%	35%	0%
ETA_34-M-CN-O	100%	100%	96%	86%	66%
ETA_35-M-CN-O	100%	72%	10%	0%	0%
ETA_36-M-CN-O	100%	100%	54%	0%	0%
ETA_37-M-CN-E	100%	98%	35%	31%	2%
ETA_38-M-CN-O	100%	99%	94%	80%	2%
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_40-G-CN-E	100%	51%	28%	20%	0%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_42-G-CF-E	100%	100%	84%	33%	0%
ETA_43-G-FD-E	100%	93%	78%	65%	0%
ETA_44-G-CN-E	100%	99%	91%	76%	4%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	100%	97%	5%

**Tabela A4.6 – Atendimento a padrões de Turbidez – Período de 2012 a 2016 (Completo)**

ETA / Padrão	5 uT	1 uT	0,5 uT	0,3 uT	0,1 uT
ETA_01-P-CN-E	100%	99%	91%	33%	0%
ETA_02-P-CN-O	100%	100%	90%	13%	0%
ETA_03-P-CN-EO	100%	86%	44%	12%	0%
ETA_04-P-CN-O	100%	100%	62%	6%	0%
ETA_05-P-CN-O	100%	100%	97%	29%	0%
ETA_06-P-CN-O	100%	100%	99%	93%	2%
ETA_07-P-FD-E	100%	100%	97%	56%	0%
ETA_08-P-FD-O	100%	100%	100%	95%	0%
ETA_09-P-CN-O	100%	98%	89%	78%	0%
ETA_10-P-CN-O	100%	99%	84%	39%	0%
ETA_11-P-CN-O	100%	100%	100%	89%	0%
ETA_12-P-CN-EO	100%	96%	47%	4%	0%
ETA_13-P-CN-O	100%	99%	87%	29%	0%
ETA_14-P-CN-O	100%	100%	77%	16%	0%
ETA_15-P-CN-O	100%	87%	23%	2%	0%
ETA_16-P-CN-EO	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_17-P-CN-O	100%	100%	99%	84%	0%
ETA_18-P-FD-O	100%	82%	31%	1%	0%
ETA_19-P-CN-E	100%	75%	18%	4%	0%
ETA_20-P-CN-O	100%	100%	95%	65%	17%
ETA_21-P-CN-O	100%	97%	10%	0%	0%
ETA_22-P-FD-O	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_23-P-DF-E	100%	92%	50%	17%	1%
ETA_24-P-CN-O	100%	100%	98%	15%	0%
ETA_25-P-CN-O	100%	100%	96%	49%	1%
ETA_26-M-CN-O	100%	13%	0%	0%	0%
ETA_27-M-CN-O	100%	31%	0%	0%	0%
ETA_28-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	1%
ETA_29-M-CN-O	100%	99%	93%	55%	0%
ETA_30-M-CN-O	100%	100%	100%	100%	0%
ETA_31-M-CN-O	100%	94%	76%	44%	0%
ETA_32-M-CN-O	100%	98%	76%	27%	0%
ETA_33-M-CN-O	100%	99%	84%	51%	15%
ETA_34-M-CN-O	100%	99%	80%	59%	20%
ETA_35-M-CN-O	100%	84%	29%	2%	0%
ETA_36-M-CN-O	100%	99%	31%	0%	0%
ETA_37-M-CN-E	100%	99%	56%	16%	0%
ETA_38-M-CN-O	100%	99%	92%	68%	1%
ETA_39-G-CN-E	100%	100%	100%	99%	1%
ETA_40-G-CN-E	100%	88%	74%	30%	0%
ETA_41-G-OF-E	100%	100%	100%	99%	0%
ETA_42-G-CF-E	100%	100%	93%	68%	1%
ETA_43-G-FD-E	99%	97%	92%	82%	1%
ETA_44-G-CN-E	100%	100%	96%	87%	13%
ETA_45-G-CN-O	100%	100%	99%	89%	6%