

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

JOÃO FRANCISCO DE PAULA PIMENTA

**ANÁLISE DE DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO
RÁPIDA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS SUPRIDAS
POR MANANCIAL SUPERFICIAL**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

JOÃO FRANCISCO DE PAULA PIMENTA

**ANÁLISE DE DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO
RÁPIDA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS SUPRIDAS
POR MANANCIAL SUPERFICIAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P644a
2020 Pimenta, João Francisco de Paula, 1985-
Análise de dados de turbidez da água tratada por filtração
rápida em estações de tratamento de água brasileiras supridas por
manancial superficial / João Francisco de Paula Pimenta. –
Viçosa, MG, 2020.
192 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Abastecimento de água - Brasil. 2. Água - Consumo.
3. Água potável. 4. Água - Estações de tratamento. 5. Turbidez.
6. Ministério da Saúde. Sistema de Informação de Vigilância da
Qualidade da Água para Consumo Humano. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil.
Doutorado em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 628.1

JOÃO FRANCISCO DE PAULA PIMENTA

**ANÁLISE DE DADOS DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO
RÁPIDA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS SUPRIDAS
POR MANANCIAL SUPERFICIAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2020.

Assentimento:



João Francisco de Paula Pimenta
Autor



Rafael Kopschitz Xavier Bastos
Orientador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, referências.

Às minhas queridas irmãs.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de cursar o doutorado concomitantemente com minhas atividades laborais. Em especial à PAD, na figura de Leiza Maria Granzinolli que apoiou este desafio.

Aos professores Marcelo Libânio, Daniel A. Cerqueira, Ann H. Mounteer, José Ivo Ribeiro Júnior e Maria Lúcia Calijuri pelas importantes contribuições dadas a este trabalho durante exame de qualificação.

Ao professor Marcos Vinícius Sanchez pelo apoio nas análises espaciais.

Aos professores Marcelo Libânio, Daniel A. Cerqueira, Ann H. Mounteer, Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima, Maria Lúcia Calijuri e Ana Augusta Passos Rezende pela participação na banca de defesa.

Aos colegas da DAG e DMU pela compreensão e apoio. Em especial ao Ulisses B. Comini, incentivador primeiro desta jornada.

Às engenheiras ambientais Thaís Lorraine dos Santos Moreira e Juliana Fazolo Marques pelo incansável apoio no desenvolvimento deste estudo.

Aos muitos companheiros de caminhada, Gustavo Puiatti, Gabriela Capobiango, Carolina Ventura, Keila Castro, Larissa Candian, Bárbara B. Porto, Edgard Dias, Tiago B. Magalhães e Demétrius B. Viana que também contribuíram de diversas formas para este trabalho.

À companheira da vida, Bianca.

Enfim, sou grato a todos que, de modo direto ou indireto, contribuíram para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

PIMENTA, João Francisco de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Análise de dados de turbidez da água tratada por filtração rápida em estações de tratamento de água brasileiras supridas por manancial superficial.** Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

A turbidez da água filtrada é um dos principais parâmetros de controle operacional de estações de tratamento de água (ETAs), que também cumpre papel de indicador microbiológico da qualidade da água tratada. No presente trabalho foram analisados os dados de turbidez da água filtrada em ETAs de filtração rápida, supridas por manancial superficial disponíveis no maior banco de dados de qualidade da água tratada das ETAs brasileiras (SISAGUA) entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017, que contemplou 2.036 ETAs localizadas em 1.464 municípios brasileiros. Um baixo índice de envio de informações ao SISAGUA, somado a um alto índice de dados removidos por inconsistências ou por serem considerados *outliers* configuram um banco de dados com 42% dos dados mensais informados e validados, que foram analisados. Do total de dados analisados, 52% estiveram dentro do padrão de turbidez modificado em 2011 (95% dos dados mensais de turbidez $\leq 0,5$ uT). Foram detectadas diferenças significativas na turbidez da água filtrada de acordo com: (i) o modelo de gestão - melhores desempenhos nas ETAs de sociedades de economia mista com administração privada (todas pertencentes à SANEPAR); e (ii) da macrorregião geográfica – piores desempenhos nas macrorregiões Nordeste e Centro-Oeste. Foi também observada relação da turbidez com a circunvizinhança, com identificação de aglomerados de ETAs localizadas em cidades próximas com valores semelhantes de turbidez. Os dados de turbidez foram também analisados em associação com informações referentes a aspectos técnicos, operacionais e gerenciais de 64 ETAs, cujos gestores responderam a um questionário eletrônico a fim de se identificar fatores intervenientes na turbidez da água filtrada. Os resultados apontam a influência das etapas de decantação e filtração, com valores mais baixos de turbidez da água filtrada nas ETAs: (i) que possuem decantadores; (ii) com adequação das taxas de aplicação superficiais dos decantadores (TAS); (iii) com limpeza mais frequente dos decantadores; e (iv) com filtros de camada dupla. Na opinião dos responsáveis das ETAs com filtração rápida que responderam ao questionário eletrônico a qualidade da água bruta é o principal fator gerador de

dificuldades/facilidades para atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada da norma de potabilidade.

Palavras-chave: Água para consumo humano. Gestão e operação de ETAs. Padrão de potabilidade. SISAGUA. Turbidez.

ABSTRACT

PIMENTA, João Francisco de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Analysis of the turbidity data of treated water by rapid filtration in Brazilian water treatment plants supplied by surface water.** Adviser: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

The turbidity of filtered water is one of the main parameters of operational control of water treatment plants (WTPs), which also plays a role as a microbiological indicator of the quality of treated water. In the present work, the turbidity data of filtered water in rapid filtration WTPs, supplied by surface water available in the largest database of treated water quality in the Brazilian WTPs (SISAGUA), between January 2014 and December 2017, which included 2,036 WTPs located in 1,464 Brazilian municipalities. A low rate of sending information to SISAGUA, added to a high rate of data removed due to inconsistencies or because they are considered outliers, constitute a database with 42% of the monthly data reported and validated, which were analyzed. Of the total data analyzed, 52% were within the modified turbidity pattern in 2011 (95% of the monthly turbidity data ≤ 0.5 uT). Differences were detected in the turbidity of filtered water according to: (i) the management model - better performances in the WTPs of mixed capital companies with private administration (all belonging to SANEPAR); and (ii) the geographic macro-region – worst performances in the Northeast and Midwest macro-regions. A relationship between turbidity and surroundings was also observed, with the identification of clusters of WTPs located in nearby cities with similar turbidity values. Turbidity data were also analyzed in association with information regarding technical, operational and managerial aspects of 64 WTPs, whose managers responded to an electronic questionnaire in order to identify intervening factors in the turbidity of the filtered water. The results point to the influence of the decanting and filtration stages, with lower values of turbidity of the filtered water in the WTPs: (i) that have decanters; (ii) with adequacy of the superficial application rates of the decanters (TAS); (iii) with more frequent cleaning of the decanters; and (iv) with double layer filters. In the opinion of those responsible for the WTPs with rapid filtration who responded to the electronic questionnaire, the quality of raw water as the main factor generating

difficulties / facilities to meet the turbidity standard of filtered water in the drinking standard.

Keywords: Drinking water. Management and operation of WTP. Potability standard. SISAGUA. Turbidity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Etapas de verificação e validação para limpeza do banco de dados original do SISAGUA.....	41
Figura 2.2 - Número de amostras de turbidez analisadas e informadas ao SISAGUA mensalmente, jan.2014 a dez.2017.	45
Figura 2.3 - Percentual de municípios com dados informados no SISAGUA mensalmente, jan.2014 a dez. 2017.	45
Figura 2.4 - Percentual de ETAs com dados informados no SISAGUA mensalmente, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.....	45
Figura 2.5 – Distribuição de frequência e frequência acumulada do número de ETAs pelo número total de meses com dados de P95I informados no SISAGUA, jan.2014 a dez. 2017.....	45
Figura 2.6 - Representação gráfica ¹ da estatística descritiva do total dos valores do P95I ² , janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	46
Figura 2.7 - Distribuição de frequência dos valores do P95I ¹ , janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	46
Figura 2.8 - Representação gráfica ¹ da estatística descritiva dos valores do P95I ² , janeiro de 2014 a dezembro de 2017.....	47
Figura 2.9 - Distribuição de frequência por faixa de turbidez do percentual dos valores do P95I ¹ computados em base anual entre 2014 e 2017.	48
Figura 2.10 - Percentual de ETAs distribuídas por faixas de valores do P95I ¹ (abaixo de 0,3 uT; 0,5 uT e 1,0 uT, e acima de 1,0 uT) em base mensal, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	49
Figura 2.11 - Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores do P95I ¹ , janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	50
Figura 2.12 - Distribuição de frequência e frequência acumulada de ETAs que atenderam por determinado número de meses ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira ($P95I \leq 0,5$ uT), de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	52
Figura 2.13 - Distribuição de frequência de ETAs que atenderam por determinado número de meses ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira ($P95I \leq 0,5$ uT), de 2014, 2015, 2016 e 2017.....	52
Figura 2.14 – Evolução temporal (mensal) do percentual de ETAs que atenderam ao padrão de turbidez $\leq 0,5$ uT em 25%, 50%, 75% e 95% das amostras mensais de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	54
Figura 2.15 - Percentual de ETAs que atenderam por determinado número de meses o padrão de turbidez $\leq 0,5$ uT em 25% (A), 50% (B), 75%(C) e 95%(D) das	

amostras de turbidez analisadas mensalmente nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017; percentuais de atendimento calculados (P95C) com base em dados do SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.....55

Figura 3.1 – Percentual do total de domicílios atendidos com abastecimento de água por forma de atendimento no País e nas macrorregiões¹, em 2010 e 2017.....68

Figura 3.2 – Percentual de domicílios urbanos atendidos com abastecimento de água por forma de atendimento no País e nas macrorregiões¹, em 2010 e 2017.....69

Figura 3.3 – Percentual de domicílios rurais atendidos com abastecimento de água por forma de atendimento no País e nas macrorregiões¹, em 2010 e 2017.....69

Figura 3.4 – Número e distribuição de frequência de municípios e ETAs por macrorregião do país em diferentes bases de dados.....72

Figura 3.5 – Número (A) e distribuição de frequência (B), por macrorregião do país, de ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA em 2014, 2015, 2016 e 2017.....72

Figura 3.6 – Distribuição espacial das ETAs com filtração rápida e captação em manancial superficial com dados de turbidez informados no SISAGUA entre 2014 e 2017.73

Figura 3.7 – Representação gráfica¹ da estatística descritiva dos valores do P95I² por macrorregião do país, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.....77

Figura 3.8 – Distribuições de frequência por faixa de turbidez dos valores do P95I¹ em 2014, 2015, 2016 e 2017, para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², com indicação do número de ETAs em cada macrorregião e do número de dados informados a cada ano/período.....79

Figura 3.9 – Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores do P95I¹ de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², com indicação do número de ETAs em cada macrorregião.80

Figura 3.10 – Percentual de ETAs com P95I¹ abaixo dos limites de 0,3; 0,5; 1,0; acima de 1,0 uT, para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, com indicação do número de ETAs em cada macrorregião.....81

Figura 3.11 –Distribuição de frequência e frequência acumulada de ETAs que atenderam por determinado número de meses o padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira ($P95I^1 \leq 0,5$ uT), dados do SISAGUA relativos aos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², com indicação do número de ETAs em cada macrorregião.....82

Figura 3.12 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% das seguintes variáveis, por macrorregião: percentuais de informações prestadas pelas ETAs, percentuais de atendimento do padrão de turbidez da água filtrada de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais, médias

dos valores do P95I ¹ , dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	84
Figura 3.13 – Distribuição espacial das ETAs com captação em manancial superficial e filtração rápida, classificadas por faixas de valores médios do P95I ¹ informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.	85
Figura 3.14 – Distribuição espacial das ETAs com captação em manancial superficial e filtração rápida, segundo o atendimento dos valores médios do P95I ¹ ao padrão de 0,5 uT, dados informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.	86
Figura 3.15 – Distribuição espacial das ETAs com captação em manancial superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA entre 2014 e 2017, classificadas nos grupos de “melhores” (esquerda) e “piores” ETAs (direita).	86
Figura 3.16 – Distribuição espacial de aglomerados das médias de valores do P95I ¹ informados no SISAGUA de 2014 a 2017, medidos pelo Índice Anselin Local de Moran.	90
Figura 3.17 – Distribuição espacial de aglomerados das médias anuais de valores do P95I ¹ informados no SISAGUA em 2014, 2015, 2016 e 2017, medidos pelo Índice Anselin Local de Moran.	91
Figura 3.18 – Distribuição espacial de aglomerados das médias dos valores P95I ¹ informados no SISAGUA de 2014 a 2017, identificados pela estatística local Getis – OrdGi*.	92
Figura 3.19 – Distribuição espacial de aglomerados das médias anuais dos valores de P95I ¹ informados no SISAGUA em 2014, 2015, 2016 e 2017, identificados pela estatística local Getis – OrdGi*.	93
Figura 4.1 – Número e distribuição de frequência de municípios e ETAs por porte de município nas bases de dados do IBGE, ANA, SNIS e SISAGUA.	108
Figura 4.2 - Número (A) e distribuição de frequência (B) por porte de município de ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017.	108
Figura 4.3 – Número e distribuição de frequência de municípios e ETAs por modelo de gestão de serviços de abastecimento de água nas bases de dados da ANA, SNIS e SISAGUA.	109
Figura 4.4 – Percentuais de municípios e ETAs por modelo de gestão de serviços de abastecimento de água nas bases de dados do IBGE, SNIS e SISAGUA.	110
Figura 4.5 – Número (A) e distribuição de frequência (B) por modelo de gestão de ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA nos anos de 2014 a 2017,	110
Figura 4.6 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos percentuais de informações prestadas pelas ETAs ao	

SISAGUA (2014-2017) por faixas de porte populacional dos respectivos municípios.	115
Figura 4.7 – Representação gráfica ¹ da estatística descritiva dos valores do P95I ² dos municípios onde se situam as ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	116
Figura 4.8 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores do P95I ¹ por faixas de porte populacional dos municípios onde se situam as ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	116
Figura 4.9 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores de percentual de atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (P95I ¹ ≤ 0,5uT) por faixas de porte populacional dos municípios onde se situam as ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	117
Figura 4.10 – Distribuições de frequência por faixa de turbidez dos valores de P95I ¹ em 2014, 2015, 2016 e 2017, por porte do município ² e para o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria e do número de dados informados a cada ano/período.	119
Figura 4.11 – Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores de P95I ¹ de janeiro de 2014 a dezembro de 2017 por porte do município ² e para todo o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria.	121
Figura 4.12 – Percentuais de ETAs com P95I ¹ abaixo dos limites de 0,3 uT; 0,5 uT e 1,0 uT e acima de 1,0uT, por porte do município ² e para todo o Brasil (BR), dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, com indicação do número de ETAs em cada categoria.	122
Figura 4.13 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos percentuais de informação prestados pelas ETAs ao SISAGUA (2014-2017) por modelo de gestão ¹ .	124
Figura 4.14 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores de percentual de atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais por modelo de gestão ¹ das ETAs, dados do SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	125
Figura 4.15 – Representação gráfica ¹ da estatística descritiva dos valores do P95I ² por modelo de gestão ³ , de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	126
Figura 4.16 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores do P95I ¹ por modelo de gestão ² das ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	126
Figura 4.17 – Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores do P95I ¹ de janeiro de 2014 a dezembro de 2017 por modelo de gestão ² e para todo o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada modelo de gestão.	129

Figura 4.18 – Distribuições de frequência por faixa de turbidez dos valores do P95I ¹ de 2014 a 2017, por modelo de gestão ² e para o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria e do número de dados informados a cada ano/período.	130
Figura 4.19 – Percentuais de ETAs com P95I ¹ abaixo dos limites de 0,3; 0,5; 1,0; acima de 1,0 uT, por modelo de gestão ² e para todo o Brasil (BR), dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, com indicação do número de ETAs em cada categoria.	131
Figura 4.20 – Distribuição de frequência e frequência acumulada de ETAs que atenderam por determinado número de meses ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira ($P95I \leq 0,5$ uT), dados do SISAGUA relativos aos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 por modelo de gestão ² e total do Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria.	132
Figura 4.21 – Análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I ¹) das ETAs que enviaram dados ao SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.	137
Figura 5.1 – Representação gráfica ¹ da estatística descritiva dos valores informados no SISAGUA do P95I ² , pelas ETAs cujos gestores responderam ao questionário, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, agrupados por tipo de filtração.....	151
Figura 5.2 – Distribuição de frequência do número de ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário pelo número total de meses com dados de P95I ¹ informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.....	153
Figura 5.3 – Distribuição de frequência dos valores do P95I ¹ nas ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	154
Figura 5.4 – Dispersão dos pares de valores de TAS ¹ e de P95I ² das ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário, entre janeiro. 2014 a dezembro 2017.	155
Figura 5.5 – Análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I ¹) das ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário.	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Número de municípios e ETAs em diferentes bases de dados, por estado, macrorregião e o total do Brasil.....	43
Tabela 2.2 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	50
Tabela 2.3 - Número de ETAs (N) com dados informados no SISAGUA por determinado número de meses, por faixas de valores informados do P95I ¹ e com número de amostras com valores acima de 1,0 uT, e respectivos percentuais em relação ao total de ETAs (%Nt) e ao número de ETAs com dados informados no SISAGUA (%Ni), de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	52
Tabela 2.4 - Correlação de Spearman dos valores médios P95I ¹ , do percentual de dados de P95I informados no SISAGUA e percentual de dados de P95I ≤ 0,5uT, no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.....	53
Tabela 3.1 - Municípios com percentual de amostras com presença de <i>E. coli</i> na água distribuída superior a 1,0%, no Brasil e por macrorregião, em 2014 e 2017.	70
Tabela 3.2 - Estatística descritiva dos dados mensais de P95I ¹ do total de ETAs por macrorregião, dados do SISAGUA, 2014 a 2017.....	74
Tabela 3.3 - Número de ETAs, municípios e instituições com dados informados no SISAGUA (2014-2017), percentuais de informação e de atendimento ao padrão de turbidez no período, e percentual de ETAs classificadas como melhores e piores ETAs, dados por macrorregião ¹ do país.....	78
Tabela 3.4 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs por macrorregião do país que tiveram dados de turbidez (P95I ¹) informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	78
Tabela 3.5 - Resultados do teste de medianas de Mood do percentual de ETAs com valores de P95I ¹ informados no SISAGUA (% informação), médias dos valores do P95I (Média P95I), e percentual de ETAs que atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (%atendimento), janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por macrorregião.	83
Tabela 3.6 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por macrorregião.....	83
Tabela 3.7 - Resultados do teste estatístico de autocorrelação do índice I Global de Moran para as médias dos valores do P95I ¹ , dados do SISAGUA, 2014 a 2017.	87
Tabela 4.1 - Distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo abrangência e natureza jurídico-administrativa.	99

Tabela 4.2 - Distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo abrangência, número de municípios e população urbana atendidos.	99
Tabela 4.3 - Total de municípios e ETAs por modelo de gestão nas bases de dados do IBGE (2008), SNIS (2016) e SISAGUA (2014-2017).	110
Tabela 4.4 - Número de ETAs, municípios e instituições com dados informados no SISAGUA (2014-2017), percentuais de informação e de atendimento ao padrão de turbidez no período, e percentual de ETAs classificadas como melhores e piores; dados por modelo de gestão e por porte municipal.....	112
Tabela 4.5 - Estatística descritiva dos valores mensais de P95I ¹ , para o total das ETAs e por porte municipal e modelo de gestão, dados do SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	113
Tabela 4.6 – Resultados do teste de medianas de Mood do percentual de ETAs com valores de P95I ¹ informados no SISAGUA (% informação), médias dos valores do P95I ¹ (Média P95I), e percentual de ETAs que atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (% atendimento), janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por porte municipal.	114
Tabela 4.7 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs do Brasil com valores de P95I ¹ informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por porte municipal.....	115
Tabela 4.8 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez por porte municipal.	120
Tabela 4.9 - Resultados do teste de medianas de Mood do percentual de ETAs com valores de P95I ¹ informados no SISAGUA (% informação), médias dos valores do P95I ¹ (Média P95I), e percentual de ETAs que atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (%atendimento), janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por modelo de gestão ²	124
Tabela 4.10 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs com valores de P95I ¹ informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por modelo de gestão ²	124
Tabela 4.11 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por modelo de gestão.....	133
Tabela 4.12 - Modelo de regressão logística para associação de características das ETAs com o valor médio de turbidez (P95I ¹).	134
Tabela 4.13 - Análise de componentes principais da análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I ¹) das ETAs que enviaram dados ao SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.....	136

Tabela 5.1 - Total de ETAs e municípios analisados por estado e macrorregião geográfica.....	150
Tabela 5.2 - Estatística descritiva dos valores mensais dos P95I ¹ entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017: ETAs de filtração rápida com dados informados no SISAGUA (SISAGUA (FR)) e cujos gestores responderam ao questionário - filtração rápida (Quest FR), filtração lenta incluindo todas que se autodeclaram como tal (Quest FL), e ETAs que não especificaram a técnica de filtração (Quest ND).....	152
Tabela 5.3 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I ¹ em ETAs de filtração rápida com TAS ² de acordo ou não com recomendações de norma, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	156
Tabela 5.4 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I ¹ em ETAs com diferentes faixas de intervalos de limpeza do decantador, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	156
Tabela 5.5 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I ¹ em ETAs que empregam filtração direta ou ciclo completo, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	157
Tabela 5.6 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I ¹ em ETAs com filtração em camada simples ou em camada dupla, dados informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.	157
Tabela 5.7 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I ¹ , informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017 em ETAs por categoria reportada de violação do padrão de turbidez.	158
Tabela 5.8 - Modelo de regressão logística para associação de características das ETAs, com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário, com o valor médio de turbidez (P95I ¹).	161
Tabela 5.9 - Análise de componentes principais da análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I ¹) das ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário.....	162

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.2 HIPÓTESE	21
1.3 OBJETIVOS	22
OBJETIVO GERAL	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.4 ESTRUTURA DA TESE.....	22
1.5 MATERIAL E MÉTODOS	23
1.5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DO BANCO DE DADOS DO SISAGUA	23
1.5.2 ANÁLISE ESPACIAL	25
1.5.3 MODELOS DE GESTÃO, PORTE MUNICIPAL E MACRORREGIÃO	26
1.5.4 ASPECTOS TÉCNICOS, OPERACIONAIS E GERENCIAIS - QUESTIONÁRIOS	27
1.5.5 TENDÊNCIAS TEMPORAIS	29
1.5.6 ANÁLISES MULTIVARIADAS	29
1.6 REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 2 -ANÁLISE DOS DADOS DO SISAGUA (2014-2017) DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO RÁPIDA EM ETAS SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL.....	33
2.1 INTRODUÇÃO	33
2.2 RESULTADOS.....	40
2.2.1 SISTEMATIZAÇÃO INICIAL DO BANCO DE DADOS	40
2.2.2 EVOLUÇÃO DA ALIMENTAÇÃO DO SISAGUA COM DADOS DE CONTROLE DA TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA	44
2.2.3 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE TURBIDEZ	45
2.2.4 ATENDIMENTO AOS LIMITES DE TURBIDEZ ESPECIFICADOS EM NORMAS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	47
2.2.5 METAS PROGRESSIVAS DE ATENDIMENTO AO PADRÃO DE TURBIDEZ ESTABELECIDAS NA PORTARIA 2914/2011	53
2.3 DISCUSSÃO	56
2.4 CONCLUSÕES	59
2.5 REFERÊNCIAS	60

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE ESPACIAL DOS DADOS DO SISAGUA (2014-2017) DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO RÁPIDA EM ETAS SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL.....68

3.1 INTRODUÇÃO68

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO71

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS71

3.2.2 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ETAS POR MACRORREGIÃO75

3.2.3 AVALIAÇÃO ESPACIAL DO DESEMPENHO DAS ETAS84

3.3 CONCLUSÕES94

3.4 REFERÊNCIAS95

CAPÍTULO 4 - INFLUÊNCIA DOS MODELOS DE GESTÃO E DO PORTE MUNICIPAL NA TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO RÁPIDA EM ETAS SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL97

4.1 INTRODUÇÃO97

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO107

4.2.1 COMPOSIÇÃO DO BANCO DE DADOS107

4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS111

4.2.3 DESEMPENHO DAS ETAS POR PORTE DOS RESPECTIVOS MUNICÍPIOS.....114

4.2.4 DESEMPENHO DAS ETAS POR MODELO DE GESTÃO123

4.2.5 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS DO SISAGUA.....133

4.3 CONCLUSÕES137

4.4 REFERÊNCIAS139

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE FATORES TÉCNICOS E OPERACIONAIS INTERVENIENTES NA TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA EM ETAS SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL143

5.1 INTRODUÇÃO143

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO149

5.2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS DADOS.....149

5.2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DE ETAS DE FILTRAÇÃO RÁPIDA.....153

5.2.3 INFLUÊNCIA DE FATORES TÉCNICO-OPERACIONAIS NA TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA
154

5.2.4 OPINIÃO DOS RESPONSÁVEIS PELAS ETAS EM RELAÇÃO ÀS DIFICULDADES PARA
ATENDER O PADRÃO DE TURBIDEZ157

5.2.5 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS DO QUESTIONÁRIO160

5.3 CONCLUSÕES	163
5.4 REFERÊNCIAS	165
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
APÊNDICE 171	
QUESTIONÁRIOS ELETRÔNICOS	171
QUESTIONÁRIO “ADMINISTRATIVO”	172
QUESTIONÁRIO “TÉCNICO”	178

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Caracterização do problema

A remoção e a inativação de organismos patogênicos figuram entre as principais metas do tratamento de água para consumo humano. Nesse aspecto destacam-se os protozoários, uma vez que esses organismos, particularmente *Giardia* e *Cryptosporidium*, apresentam reconhecida importância epidemiológica associada ao abastecimento de água para consumo humano, com surtos de giardiose e criptosporidiose continuamente registrados em várias partes do mundo (KARANIS *et al.*, 2007; BALDURSSON e KARANIS, 2011; EFSTRATIOU *et al.*, 2017).

Cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* são as formas excretadas desses organismos, que circulam no ambiente e são ingeridas por novos hospedeiros. Como são resistentes às condições ambientais, os (oo)cistos de protozoários podem chegar às estações de tratamento de água (ETAs), onde devem ser removidas. Porém, estes (oo)cistos possuem características que dificultam sua remoção/inativação por processos físicos e químicos de tratamento da água, como por exemplo, tamanho diminuto e resistência à ação dos agentes desinfetantes empregados no tratamento de água, particularmente ao cloro. Por outro lado, os (oo)cistos se comportam de maneira semelhante às partículas coloidais ou em suspensão (por exemplo, possuem carga elétrica superficial negativa) e, portanto, são passíveis de remoção por técnicas usuais de tratamento de água, tais como coagulação, floculação, decantação e, principalmente, filtração desde que submetidas aos devidos cuidados operacionais (USEPA, 2009; BASTOS *et al.*, 2009).

Mas, como destacado por Bastos *et al.* (2009), o monitoramento rotineiro de protozoários ainda encontra limitações financeiras e analítico-laboratoriais, principalmente na água tratada, onde, por hipótese, esses organismos se fazem presentes em baixas concentrações. Assim, é prática comum a adoção de indicadores da presença/ausência de (oo)cistos de protozoários ou indicadores da eficiência de remoção destes organismos no tratamento da água, no caso, principalmente da eficiência da filtração, que possibilitem um controle rotineiro da

qualidade da água. Os indicadores de escolha são então aqueles utilizados na avaliação da remoção de partículas suspensas, principalmente turbidez, devido ao baixo custo e à simplicidade analítica de sua determinação.

Assim, também como destacado por Bastos *et al.* (2009), embora permaneçam incertezas em torno da definição de limites numéricos de turbidez abaixo dos quais estaria assegurada a efetiva remoção de (oo)cistos de protozoários, em várias normas de qualidade da água para consumo humano, incluindo a brasileira, valores limites de turbidez para a água filtrada são entendidos como componentes do padrão microbiológico de potabilidade.

Seguindo a evolução das normas internacionais, o padrão brasileiro de turbidez da água filtrada também tem se tornado mais restritivo: o valor de 1,0 uT vigorava como Valor Máximo Desejável (VMD) desde 1977 (Portaria 56/Bsb) e como Valor Máximo Permitido (VMP) em 1990 (Portaria n.º 36/GM), em 2011 (Portaria nº 2914 /2011) o VMP caiu para 0,5 uT em 95% das amostras mensais (BRASIL, 2011). Porém, essa trajetória não tem sido sem controvérsias, como se depreende, ainda que subjacentemente, em Bastos (2003), em documentos do Ministério da Saúde sobre o processo de revisão da norma de qualidade da água para consumo humano, ou mesmo nos próprios textos de sucessivas versões da norma, as quais, paralelamente ao VMP, trazem como recomendações metas mais rigorosas de turbidez da água filtrada (BRASIL, 2005a; BRASIL, 2011).

De um lado, e já de algum tempo, em nome da boa fundamentação científica se notam argumentos do setor saúde e da academia em prol de um padrão mais rigoroso. De outro, principalmente dos prestadores de serviço em abastecimento, há contra-argumentos que limites mais restritivos de turbidez são de difícil atendimento, por razões práticas (operacionais, de controle do processo de tratamento em ETAs) e, ou econômicas (necessidades de investimentos em melhorias nas ETAs). Mas o fato é que o padrão brasileiro de 0,5 uT, voltado principalmente ao controle de *Giárdia* (BRASIL, 2005; USEPA, 1991), é correspondente à versão de 1989 da regulamentação dos Estados Unidos (USEPA, 1989). Encontra-se, portanto, defasada em relação à abordagem mais recente da norma dos EUA e de vários outros países, como Austrália (NHMRC/NRMMC, 2018), Canadá (HEALTH CANADA, 2017) e Nova Zelândia (MINISTRY OF HEALTH, 2018), que têm como foco o controle de *Cryptosporidium* e, para tanto, se valem de padrões mais rigorosos: 0,3 uT, ou ainda menos.

Sem entrar aqui na discussão se do ponto de vista epidemiológico o foco prioritário do padrão de potabilidade brasileiro deva ser o controle de *Giardia* ou de *Cryptosporidium*, interessa retratar, em panorama o mais amplo possível, como tem se dado o envio de dados ao Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – SISAGUA e o que efetivamente se tem alcançado em termos de turbidez da água filtrada nas ETAs em operação no Brasil que enviam seus dados ao SISAGUA; para além disso, é importante verificar o que efetivamente se tem alcançado em termos de turbidez da água filtrada nas ETAs em operação no Brasil que enviam seus dados ao SISAGUA, em especial no que diz respeito ao atendimento aos valores de 1,0 uT, 0,5 uT e 0,3 uT, vigentes como valores limites na norma brasileira de qualidade da água para consumo humano.

Com este intuito, pretende-se neste trabalho responder às seguintes perguntas de pesquisa:

- Qual é o cenário do envio de dados ao SISAGUA nas ETAs brasileiras de filtração rápida com captação em manancial superficial?
- Qual é a qualidade da água em termos de turbidez obtida em ETAs com filtração rápida no Brasil que informam seus dados ao SISAGUA em termos de turbidez e, mais especificamente, qual é o panorama de atendimento ao padrão (0,5 uT) / recomendação (0,3 uT) de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção da norma brasileira?
- Existem diferenças no atendimento a estes limites de turbidez relacionados ao porte da cidade, ao modelo de gestão, a aspectos regionais ou de localização geográfica?
- Quais fatores influenciam mais nitidamente a qualidade e o atendimento aos limites de turbidez da água filtrada: aspectos técnicos, operacionais e, ou gerenciais?

1.2 Hipótese

O atendimento aos limites de turbidez estabelecidos na norma brasileira de qualidade da água para consumo humano é influenciado por aspectos regionais, técnicos, operacionais e gerenciais.

1.3 Objetivos

Objetivo geral

Descrever e interpretar a qualidade da água tratada por filtração rápida em ETAs brasileiras supridas por manancial superficial em relação aos dados de turbidez informados no SISAGUA entre 2014 e 2017.

Objetivos específicos

(i) Descrever e analisar o envio de informações ao SISAGUA de turbidez da água tratada por filtração rápida em ETAs supridas por manancial superficial.

(ii) Descrever e analisar o cumprimento do padrão de turbidez da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano por parte de ETAs supridas por manancial superficial e que prestam informações ao SISAGUA.

(iii) Verificar a influência da localização geográfica na turbidez da água tratada por filtração rápida em ETAs brasileiras supridas por manancial superficial.

(iv) Verificar a influência dos modelos de gestão e do porte municipal na turbidez da água tratada por filtração rápida em ETAs supridas por manancial superficial.

(v) Verificar a associação da turbidez de água filtrada com aspectos técnicos, operacionais e gerenciais específicos das ETAs, incluindo: (a) infraestrutura da ETA; (b) técnicas de tratamento; (c) capacidade instalada em termos de recursos materiais e recursos humanos e (d) práticas operacionais.

1.4 Estrutura da tese

Esta tese está estruturada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo é apresentado o assunto tratado, os objetivos, hipóteses e material e métodos do trabalho. O segundo capítulo busca analisar e descrever a mais completa base de dados de qualidade da água tratada e distribuída nas ETAs brasileiras, o SISAGUA, com foco nos dados de turbidez da água tratada por filtração rápida em ETAs supridas por manancial superficial entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017. O terceiro se dedica à análise espacial dessas ETAs. O quarto é direcionado à análise da influência dos modelos de gestão e do porte municipal na turbidez da água

filtrada e na análise multivariada desses fatores. O quinto avança na análise da influência de fatores técnicos e operacionais na turbidez da água filtrada a partir de respostas a questionário *on-line* aplicados a sistemas de abastecimento de água cadastrados no SISAGUA com dados de turbidez informados entre 2014 e 2017.

1.5 Material e Métodos

1.5.1 Análise descritiva do banco de dados do SISAGUA

Descreve-se a seguir o tratamento dado aos dados do SISAGUA com vistas à aplicação nos vários capítulos deste documento.

Foram utilizados dados de turbidez de água filtrada armazenados no SISAGUA, com o seguinte recorte: (i) dados de controle da qualidade da água, ou seja, inseridos no sistema pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água; (ii) período de janeiro de 2014 a dezembro de 2017; (iii) ETAs que utilizam filtração rápida e realizam captação em manancial superficial.

Os dados são individualizados por ETA, com frequência mensal, e englobam as seguintes informações relacionadas à turbidez da água filtrada: (i) número de análises realizadas; (ii) número de amostras com turbidez $\leq 0,3$ uT; (iii) número de amostras com turbidez entre 0,3 uT e 0,5 uT; (iv) número de amostras com turbidez entre 0,5 uT e 1,0 uT; (v) número de amostras com turbidez $>1,0$ uT e (vi) valor informado de turbidez correspondente ao 95º percentil (P95I).

Para a sistematização e análise dos dados foram utilizados os programas Excel, Minitab e R. Preliminarmente realizou-se uma “limpeza” na base de dados, com identificação e retirada de: cadastros incoerentes e, ou sem respostas; valores de P95I não validados; e *outliers*. Os valores de P95I informados no SISAGUA foram validados com o cálculo dos percentis de atendimento às faixas de valores-limite de turbidez informados ao SISAGUA (número de amostras com turbidez $\leq 0,3$ uT; número de amostras com turbidez entre 0,3 uT e 0,5 uT; e número de amostras com turbidez entre 0,5 uT e 1,0 uT; em relação ao número de análises realizadas). Já os *outliers* foram definidos como valores de P95I superiores ao valor do 3º quartil (valor de turbidez correspondente a 75% dos dados de P95I ordenados em ordem crescente) somado a 1,5 vezes a amplitude do intervalo interquartil - diferença

entre o 3° quartil e o 1° quartil (valor de turbidez correspondente a 25% dos dados de P95I ordenados em ordem crescente).

Os dados do SISAGUA de cadastro das ETAs foram sistematizados por meio de estatística descritiva e comparados com informações das seguintes bases de dados: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2008), Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010), Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010) e Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (SNIS, 2016). O banco de dados do SISAGUA foi analisado também quanto à evolução da alimentação do sistema por parte dos prestadores de serviço, com o percentual de informação calculado em função do número de meses informados em relação ao total de meses analisados (48). Ressalta-se que dados de cadastro das ETAs são armazenados no SISAGUA apenas com a última informação enviada, portanto não há como verificar eventuais variações temporais desta informação.

Para a análise do atendimento aos limites de turbidez da água filtrada de 0,3 uT, 0,5 uT e 1,0 uT foram utilizados os valores do P95I, os quais foram caracterizados por meio de estatística descritiva: número de dados, média aritmética, mediana, moda, valores máximo e mínimo, quartis inferior e superior, percentil 95%, distribuição de frequência, variância e desvio padrão.

Com o intuito de identificar focos de boas práticas foram criados dois grupos: (i) “melhores” ETAs, incluindo as com dados informados no SISAGUA por ao menos 12 meses e que apresentaram valores de P95I sempre menores ou iguais a 0,5 uT; (ii) “piores” ETAs, referente àquelas que também tiveram dados informados no SISAGUA por pelo menos 12 meses, mas que apresentaram valores de P95I sempre maiores que 0,5 uT.

Foram verificadas as aderências das distribuições de frequência dos dados de P95I, suas médias do período, percentuais de informação e atendimento ao padrão 0,5 uT, às distribuições de probabilidade pré-definidas (normal, lognormal, exponencial, Weibull, gama, logística e loglogística) utilizando o teste de Anderson-Darling.

Uma vez que os dados de turbidez não mostraram aderência à distribuição normal, as análises de inferência estatística foram realizadas com utilização de testes não paramétricos. Para testar a relação de variáveis contínuas com a turbidez da água filtrada (P95I) foram realizados testes de correlação de Spearman (ρ), enquanto para as variáveis categóricas foram realizados testes de mediana de

Mood, que efetua um teste de qui-quadrado (X^2) para a tabela de distribuição de observações em relação à mediana dos dados e apresenta como resultado o intervalo de confiança (95%) para a mediana dos níveis do fator testado e um valor de p referente à hipótese nula de igualdade das medianas. A verificação da sobreposição dos intervalos de confiança permite analisar a igualdade entre diferentes categorias.

No capítulo 2, os valores do P95I foram caracterizados por meio de estatística descritiva: número de dados, média aritmética, mediana, moda, valores máximo e mínimo, quartis inferior e superior, percentil 95, variância, desvio padrão, distribuição de frequência e sua aderência a uma distribuição de probabilidades pré-definida (normal, lognormal, exponencial, Weibull, gama, logística e loglogística) pelo teste de Anderson Darling. Para fins de avaliação do cumprimento das metas progressivas de atendimento estipuladas na versão de 2011 da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011), foram calculados os percentis 25 (P25C), 50 (P50C) e 75 (P75C) de atendimento ao padrão de turbidez de 0,5 uT.

Em relação à base de dados de turbidez da água filtrada do SISAGUA, foram analisadas as seguintes informações (índices): (i) percentuais de dados informados, calculados com o número de meses com dados de P95I em relação ao total de 48 meses do período avaliado (janeiro de 2014 a dezembro de 2017); (ii) percentual de atendimento, calculado com o número de dados mensais de P95I $\leq$ 0,3 uT; 0,5 uT e 1,0 uT em relação ao total de dados de P95I informados e (iii) a média dos valores de P95I informados para cada ETA. Para verificar a relação entre estes índices (i, ii e iii), foi utilizado o teste de correlação de Spearman.

1.5.2 Análise espacial

No capítulo 3 as análises foram realizadas com os dados desagregados de acordo com as cinco macrorregiões do país: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste.

Nesse capítulo foram realizadas análises espaciais a fim de identificar e descrever possíveis padrões de agrupamento - aglomerados espaciais de ETAs com valores médios de turbidez (P95I) semelhantes. Para todas as ETAs foi adotada

como localização geográfica o centroide do município a que pertencem e foram calculados valores médios de turbidez (P95I) para todo período e anualmente entre 2014 e 2017. As análises espaciais e mapas foram elaborados no programa ArcGis, versão 10.3, distribuído pela ESRI.

A estatística de autocorrelação global do índice I Global de Moran foi utilizada para testar a hipótese nula de aleatoriedade espacial dos dados médios de turbidez (P95I) das ETAs analisadas. Já a estatística de autocorrelação local do índice I Anselin Local de Moran foi utilizada para identificar padrões de aglomerações (*clusters*) e suas relações com a vizinhança, em quatro tipos de agrupamentos: (i) *Cluster High*: aglomerados de valores altos; (ii) *High outlier*: um valor alto cercado por valores baixos; (iii) *Low outlier*: um valor baixo cercado por valores altos; e (iv) *Cluster Low*: aglomerados de valores baixos.

Outro teste estatístico espacial utilizado foi a análise de *Hot spots* Getis-Ord Gi*, para testar a significância estatística de aglomerados locais. Esta análise identifica *Hot Spots* (regiões com focos de altas médias de turbidez) e *Cold Spots* (regiões com focos de baixas médias de turbidez) em diferentes níveis de confiança (90%, 95% e 99%).

1.5.3 Modelos de gestão, porte municipal e macrorregião

No capítulo 4 foi avaliada a turbidez da água produzida em ETAs de diferentes modelos de gestão e portes municipais, sendo avaliadas as seguintes categorias:

- porte populacional do município (hab.): (i) até 5.000; (ii) entre 5.000 e 10.000; (iii) entre 10.000 e 20.000; (iv) entre 20.000 e 50.000; (v) entre 50.000 e 100.000; (vi) entre 100.000 e 500.000; e (vii) mais de 500.000, seguindo faixas populacionais adotadas pelo IBGE (2010);
- modelos de gestão (categorias definidas no SNIS): Administração Pública Direta (APD), Autarquia (Aut), Empresa Privada (Epriv), Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (SPriv), Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (SPub), Organização Social (OS), Empresa Pública (Epub) e Não Definido (ND).

Em ambos os capítulos, 3 e 4, a diferença entre os valores médios de P95I e dos percentuais de informação e atendimento ao padrão 0,5 uT das diferentes categorias foram verificadas por meio do teste não paramétrico de medianas de Mood.

1.5.4 Aspectos técnicos, operacionais e gerenciais - questionários

No capítulo 5, com o objetivo de discutir a influência de aspectos técnicos, operacionais e gerenciais associados ao tratamento da água na turbidez da água filtrada alcançada em ETAs no Brasil que captam água em manancial superficial, são apresentadas informações referentes às respostas de questionários eletrônicos enviados a todos os sistemas de abastecimento de água cadastrados no SISAGUA com dados de turbidez informados entre 2014 e 2017.

Os questionários foram elaborados na plataforma de formulários Google Docs (Apêndice), sendo divididos em duas partes (administrativa e técnica) de forma a levantar as seguintes informações: (i) descrição geral da ETA e dos processos unitários de tratamento, incluindo aspectos de porte, capacidade de tratamento e controle operacional; (ii) frequência de controle da turbidez e equipamentos empregados; (iii) formação/ qualificação/ capacitação dos responsáveis pela operação das ETAs; (iv) caracterização dos mananciais de abastecimento; (v) aspectos referentes à entidade prestadora do serviço (natureza jurídica, abrangência de atuação, localização, porte); (vi) opinião dos responsáveis pelos serviços de tratamento/ abastecimento de água sobre o atendimento ao padrão de turbidez da norma brasileira de potabilidade da água.

Seguem listados os dados levantados por meio do questionário (os marcados com asterisco foram calculados a partir das respostas): (i) caracterização da ETA e da instituição (localização e modelo de gestão); (ii) dados de turbidez da água bruta; (iii) caracterização do respondente; (iv) vazões da ETA (mínima, máxima, de projeto, mais frequente); (v) tipo de manancial (superficial ou subterrâneo); (vi) tipo de captação da ETA (direta a fio d'água ou com barramento); (vii) vazões do manancial (outorgada, mínima, mais frequente); (viii) análises de protozoários (frequência, valores); caracterização das etapas de tratamento: (ix) mistura rápida (se possui, tipo, coagulante, forma de dosagem, doses médias); (x)

floculação (se possui, número, tipo, volume, tempo de detenção hidráulica *, adequação à norma*); (xi) decantação (se possui, número, tipo, área superficial, tipo e frequência de limpeza, taxa de aplicação superficial *, adequação à norma*); (xii) flotação (se possui, número, tipo, área superficial, tipo e frequência de limpeza, taxa de aplicação superficial *, adequação à norma*); (xiii) filtros (se possui, número, tipo, sentido de fluxo, tipo de meio de filtração, área superficial, taxa de filtração *, adequação à norma*, critério para limpeza, tipo de controle do processo de limpeza, método de limpeza); (xiv) tanque de contato (se possui, número, volume, agente desinfetante, concentração residual); (xv) monitoramento da turbidez (se possui, frequência e locais, equipamento); (xvi) funcionários (número e escolaridade).

As respostas dos questionários foram analisadas juntamente com: (i) dados de turbidez da água filtrada do SISAGUA; (ii) dados de turbidez da água bruta enviados com os questionários por algumas ETAs; (iii) dados de caracterização dos sistemas e dos respectivos municípios que constam no Sistema Nacional de Informações de Saneamento – SNIS (SNIS, 2016), como modelo de gestão dos serviços, e no IBGE (IBGE, 2010), como o porte do município onde está localizada a ETA.

O conjunto das ETAs foi caracterizado por meio de estatística descritiva dos dados de turbidez da água filtrada - valores informados no SISAGUA do percentil 95 mensal dos dados de turbidez (P95I) de dezembro de 2014 a janeiro de 2017: número de dados, média aritmética, mediana, moda, valores máximo e mínimo, quartis inferior e superior, variância, desvio padrão, distribuição de frequência e sua aderência a uma distribuição de probabilidades pré-definida (normal, lognormal, exponencial, Weibull, gama, logística e loglogística) pelo teste de Anderson Darling.

Os dados de turbidez da água filtrada (P95I) do conjunto de ETAs cujos gestores responderam o questionário (64 ETAs de filtração rápida) foram testados para igualdade de variâncias pelos métodos de Bonett e Levene, válidos para toda distribuição contínua, e para igualdade de médias com a realização do teste t para duas amostras; em ambos os casos em relação ao total de dados de turbidez de água filtrada (P95I) informados no SISAGUA pelas 2.036 ETAs com filtração rápida, supridas por manancial superficial, analisadas nos capítulos anteriores.

A opinião dos responsáveis pelas ETAs quanto os fatores influentes no atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada foi abordada no questionário tanto por meio de perguntas fechadas / respostas objetivas e quantificáveis, quanto

de espaços para comentários abertos. As respostas objetivas foram tratadas por meio de testes estatísticos quantitativos, associando as respostas ao banco de dados de turbidez do SISAGUA. As comentadas, naturalmente, serão objeto de discussão qualitativa.

1.5.5 Tendências temporais

Para analisar as tendências temporais das séries de percentuais de atendimento aos limites de turbidez da água filtrada de 0,3 uT; 0,5 uT e 1,0 uT, bem como de envio de informações ao SISAGUA, foi utilizado o teste de Cox-Stuart, pois este é um método robusto que não depende do tipo de distribuição dos dados. O teste é feito calculando-se diferenças para pares de observações $x_{m+1} - x_1, x_{m+2} - x_2, x_{m+3} - x_3, \dots, x_{2m} - x_m$ sendo $n = 2m$ quando a série tem tamanho par ou $n = 2m + 1$ quando a série tem tamanho ímpar. Se existir tendência crescente espera-se que a maioria das diferenças seja positiva. Por outro lado, se não houver tendência e as observações diferirem apenas por flutuações em torno de uma mediana, espera-se que as diferenças entre sinais positivos e negativos sejam proporcionalmente similares. A superioridade numérica de diferenças negativas sugere tendência decrescente.

1.5.6 Análises multivariadas

Foram ainda testados modelos de regressão logística e análise de correspondentes múltiplos (ACM) para os dois grupos de dados: das 2.036 ETAs com dados informados no SISAGUA no capítulo 4, e para as 64 ETAs cujos gestores responderam ao questionário no capítulo 5. Para o grupo maior, das 2.036 ETAs, foram analisadas, conjuntamente: o porte municipal, o modelo de gestão e a macrorregião geográfica como variáveis de interesse. Para o grupo menor, das 64 ETAs, foram levadas em consideração todas as variáveis extraídas do questionário que apresentaram significância estatística ($p < 0,15$), sempre em relação ao atendimento ao padrão de turbidez da portaria ($P95I \leq 0,5$ uT).

Os modelos de regressão logística foram utilizados para estimativas de razões de chance (*odds ratio* – OR) referentes à associação entre as variáveis de

interesse e os valores médios de turbidez (P95I) (capítulo 4), e em relação ao atendimento ao padrão de turbidez da portaria ($P95I \leq 0,5 \text{ uT}$) (capítulo 5). Esses modelos também apresentam as razões de chance ajustadas (*odds ratio* ajustadas – OR aj.) pelo modelo completo e reduzido e seus respectivos intervalos de 95% de confiança (IC 95%). Em cada tabela são apresentados dois modelos, A e B, que indicam, respectivamente, o modelo completo e o modelo reduzido. O modelo completo, como o nome sugere, apresenta todas as variáveis, mesmo não sendo significativas, enquanto o modelo reduzido apresenta apenas as variáveis explicativas com associação significativa para o desfecho. O modelo logístico estima a chance de ocorrência de um evento entre ETAs com uma determinada característica, comparado a ETAs que não possuem aquela dada característica de desenvolverem o desfecho. Para cada variável de interesse foram selecionadas as categorias com maior número de ETAs como a categoria de referência. A seleção do melhor modelo foi realizada pelo Critério de Informação de Akaike – AIC, menor valor de AIC representa um modelo de melhor ajuste, com maior qualidade e simplicidade (AKAIKE, 1974).

Já a análise de correspondentes múltiplos (ACM) permite analisar as inter-relações entre as variáveis de interesse e o atendimento, ou não, do padrão de turbidez ($P95I \leq 0,5 \text{ uT}$). É possível analisar as variáveis com maior relevância para a formação de agrupamentos considerando o efeito conjunto das variáveis utilizadas. De modo geral, espera-se que ETAs que atenderam ao padrão de turbidez apresentem características mais semelhantes entre si quando comparadas com ETAs que não atenderam ao padrão de turbidez.

1.6 Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control** (6): 716–723. doi:10.1109/TAC.1974.1100705. 1974

BALDURSSON, S., KARANIS, P. Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks – an update 2004–2010. **Water Research**, v.45, p. 6603– 6614, 2011.

BASTOS, R. K. X. Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano – evolução da legislação brasileira. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS, CONE SUL, 4, 2003, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: AIDIS, 2003, CD-ROM.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; MIERZWA, J.C. Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano. In: PÁDUA, V.L.D. **Remoção de microrganismos emergentes e micro contaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: ABES, p. 327-360, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, Brasília, 2005a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Comentários sobre a Portaria MS. N.º 518/2004**: subsídios para implementação. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 92 p, 2005b.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Brasília. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 1 fev. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 14 de dezembro de 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Anexo XX da Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2017; Suplemento: 360-568. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html> Acesso em: 10 fev. 2020.

EFSTRATIOU, A.; ONGERTH, J.; KARANIS, P. Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks - An update 2011–2016. **Water Research**, v. 114, p. 14-22, 2017.

HEALTH CANADA. **Federal provincial territorial committee on drinking water. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality.** Summary Table. Ottawa: Health Canada, 2017.

KARANIS, P. KOURENTI. C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: a worldwide review of outbreaks and lessons learnt. **Journal of Water and Health.** v.5, n.1, p. 1-38, 2007.

MINISTRY OF HEALTH. **Drinking-water Standards for New Zealand** 2005 (revised 2018). Wellington: Ministry of Health. 2018. Disponível em: <https://www.health.govt.nz/system/files/documents/publications/dwsnz-2005-revised-mar2019.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2019.

NHMRC, NRMMC (2018). **Australian Drinking Water Guidelines Paper 6 National Water Quality Management Strategy. National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council**, Commonwealth of Australia, Canberra. 2011. Version 3.5 Updated August 2018. Disponível em: <https://nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines#block-views-block-file-attachments-content-block-1>. Acesso em: 15 ago. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations.** Filtration, disinfection, turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, Legionella, and heterotrophic bacteria; Final rule. Part III. Federal Register, 54 FR 27486, 1989.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources.** Washington, DC: USEPA, 1991. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/guidance_manual_for_compliance_with_the_filtration_and_disinfection_requirements.pdf. Acesso em: 22 mai. 2019

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Primary Drinking-water Regulations.** Washington: USEPA, 2009.

CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DOS DADOS DO SISAGUA (2014-2017) DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO RÁPIDA EM ETAs SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL

2.1 Introdução

A universalização do acesso à água para consumo humano, com qualidade adequada, ainda não é realidade, mesmo que seja um direito humano fundamental (ONU, 2014). A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, globalmente, pelo menos dois bilhões de pessoas consumam água contaminada (WHO, 2018). No Brasil, em 2008, a água fornecida em 6,2% dos municípios era apenas parcialmente tratada, e em outros 6,6% a água não passava por nenhum tipo de tratamento (IBGE, 2010). Em 2013, 23% dos sistemas de abastecimento de água (SAA) do país cadastrados no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) do Ministério da Saúde (MS) forneciam água por meio de rede geral de abastecimento sem qualquer tipo de tratamento (BRASIL, 2015). Dados de 2017 davam conta que 83 milhões de brasileiros (40,1% da população) permaneciam sem atendimento adequado de abastecimento de água, dos quais 5,6 milhões de pessoas (2,7% da população) simplesmente não eram atendidos (BRASIL, 2019). O atendimento adequado foi entendido pelo PLANSAB (BRASIL, 2019) como o abastecimento de água potável por rede de distribuição ou por poço, nascente ou cisterna, com canalização interna, em qualquer caso sem intermitências.

Naturalmente o abastecimento com água de qualidade inadequada tem impacto sobre a saúde. Segundo Paiva e Souza (2018), doenças de veiculação hídrica foram responsáveis por 353.666 internações no Brasil em 2013, o que representou 3,2% do total de internações do país, com custo estimado de R\$ 125.144.714,10 (valor médio de R\$ 353,85/internação) e um total de 1.060.998 dias de permanência (permanência média de 3 dias/internação deste tipo).

No Brasil, o setor saúde é responsável pela regulamentação e pela vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 1977, BRASIL, 2005). Instituído no início dos anos 2000, o país conta hoje com um Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua), coordenado

pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) do Ministério da Saúde, com o objetivo de: “desenvolver ações de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano que garantam à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, para a promoção da saúde” (BRASIL, 2005) ¹.

O Vigiagua conta com um sistema de informação de vigilância da qualidade da água para consumo humano (SISAGUA), onde são armazenados dados sobre: (i) caracterização das formas de abastecimento de água; (ii) monitoramento da qualidade da água exercido pelos responsáveis pelo controle de qualidade da água, de acordo com os planos de amostragem definidos na norma brasileira de qualidade da água para consumo humano; e (iii) monitoramento da qualidade da água distribuída exercido pelos responsáveis pela vigilância da qualidade da água – instâncias locais ou regionais do setor saúde. O SISAGUA foi implantado em 2000 e já está na sua quarta versão; em 2017 contava com dados de cadastro, controle e vigilância de 4.307 municípios, isto é, 77% dos municípios brasileiros (BRASIL, 2018; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019).

A norma brasileira de qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2017) especifica planos mínimos de amostragem de controle de qualidade da água, incluindo a frequência e o número de amostras a serem coletadas em diferentes pontos do sistema (manancial, saída do tratamento e no sistema de distribuição). Para a verificação do padrão de substâncias químicas, há que se monitorar regularmente dezenas de substâncias em frequência um tanto esparsa - trimestral a semestral. Entretanto, outras variáveis, de análises e respostas mais rápidas, de significado especial de saúde ou para o controle operacional de rotina, devem ser monitoradas em frequência bem mais intensa, como, por exemplo: turbidez, cloro residual e bactérias do grupo coliforme (no caso da turbidez, a cada duas horas).

A turbidez é uma variável de mensuração analítica extremamente simples e de baixo custo e, ao mesmo tempo, altamente informativa em termos da presença e da remoção de material particulado da água. Por isso, é um indicador bem

¹Em 1986, o Ministério da Saúde havia instituído uma primeira iniciativa de um “programa nacional de vigilância de qualidade de água para consumo humano” mas que, de fato, não se consolidou como tal (BRASIL, 2005).

estabelecido de controle operacional de um sistema de tratamento convencional para clarificação da água. Assim, a turbidez da água filtrada, por ser resultado de uma série de etapas que dependem de cada etapa anterior (coagulação - floculação – decantação), torna-se um “indicador resumo” da eficiência de todas as etapas do tratamento até aquele ponto, ou seja, do processo como um todo. Além disso, a turbidez serve também como indicador da qualidade da água pré-desinfecção, pois partículas em suspensão podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante (WHO, 2017a).

Tradicionalmente, a turbidez é utilizada como parâmetro indicador da qualidade estética da água e, como tal, faz parte do padrão de potabilidade de diversos países, como, por exemplo, do padrão organoléptico da norma brasileira, com limite de 5 uT (BRASIL, 2017). Porém, mais que o significado estético, a turbidez da água filtrada assume relevância sanitária, pois, como indicador da remoção de partículas em suspensão, cumpre também papel de indicador da remoção de cistos de protozoários e, com este sentido, tem sido incorporada em normas de qualidade da água como parte do padrão microbiológico de potabilidade (BASTOS *et al.*, 2009; WHO, 2017a; 2017b).

Com efeito, em revisões de estudos epidemiológicos, De Ross *et al.* (2017) e Beaudeau (2018), encontraram em muitos dos estudos analisados (14 e 18 estudos respectivamente) associação positiva entre a elevação da turbidez na água tratada e a elevação da incidência de doenças gastrointestinais agudas.

Ainda assim, o estabelecimento de limites numéricos de turbidez que assegurem a segurança da água para consumo é, reconhecidamente, difícil. Não obstante, parece consensual o entendimento que se deva buscar a produção de efluentes filtrados com turbidez a mais reduzida possível, uma vez que isso representa importante medida de controle de protozoários (USEPA, 1999; BASTOS *et al.* 2009; WHO, 2017a).

Porém, tendo a turbidez, como padrão organoléptico ou microbiológico (explicitamente ou não), normas de qualidade da água para consumo humano apresentam grandes disparidades entre países. Um estudo da OMS identificou a existência de padrão de turbidez em normas de 85 países entre 104 países avaliados, com valores variando de 0,3 a 25 uT, sendo que em 16 países os valores eram menores que 1,0 uT. Em 15 países havia apenas dispositivos de natureza qualitativa, tais como “turbidez aceitável para os consumidores e sem mudança

anormal” (WHO, 2018). Pinto *et al.* (2012), analisando normas de países sul-americanos, chamam a atenção para que os valores máximos permitidos (VMP) de turbidez variavam amplamente entre os países, e que, com exceção de Brasil, Paraguai e Uruguai, as normas dos demais países estudados (Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela), não possuíam padrão explícito para turbidez da água filtrada.

Contudo, como já mencionado, várias normas de referência internacional incorporam um padrão de turbidez da água filtrada explicitamente como medida de controle de protozoários, e o têm feito de forma cada vez mais restritiva, como, por exemplo, as normas dos EUA (USEPA, 2006), Canadá (HEALTH CANADA, 2017), Nova Zelândia (MINISTRY OF HEALTH, 2018) e Austrália (NHMRC/NRMMC, 2018). O estado atual da arte do conhecimento permite identificar o padrão de turbidez da água filtrada de 0,5 uT como medida de controle de cistos de *Giardia*, e 0,3 uT voltado ao controle de oocistos de *Cryptosporidium* (USEPA, 2006).

A norma dos EUA, certamente a principal referência neste tema, evoluiu ao longo dos anos 1990 e da primeira década dos anos 2000 da primeira abordagem (0,5 uT) para a segunda: 0,3 uT em 95% dos dados de monitoramento ao longo de um mês e sempre abaixo de 1,0 uT (USEPA, 2006). As demais normas acima citadas tendem a acompanhar a norma dos EUA, incluindo metas ainda mais rigorosas: 0,20 uT ou 0,15 uT, por exemplo.

O padrão brasileiro de turbidez da água filtrada também tem se tornado mais restritivo: o VMP de 1,0 uT para filtração rápida, que vigorava desde 1977² até a Portaria nº 518 / 2004 (BRASIL, 2005), foi modificado em 2011 (Portaria nº 2914 /2011) para 0,5 uT, com adoção de metas progressivas ao longo dos quatro primeiros anos de vigência da Portaria: 25% das amostras analisadas mensalmente no primeiro ano, 50% no segundo, 75% no terceiro e 95% no quarto ano (sempre com VMP de 1,0 uT no restante das amostras mensais) (BRASIL, 2011).

Este padrão ($\leq 0,5$ uT em 95% das amostras e no máximo 1,0 uT para o restante das amostras medidas ao longo de um mês) permaneceu inalterado na

² A primeira norma estabelecendo padrão de potabilidade da água para consumo humano válido em todo o território nacional foi promulgada pelo Ministério da Saúde em 1977 - Portaria nº 56 BSB/1977

reedição da norma em 2017 (BRASIL, 2017) e no processo de revisão em 2019³. Adicionalmente, desde 2011 (BRASIL, 2011), a norma impõe que: (i) o monitoramento de *Giardia* e *Cryptosporidium* no ponto de captação de água quando a média geométrica anual de *E.coli* nesse ponto for ≥ 1.000 org./100 mL; (ii) quando a média aritmética da concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. for $\geq 3,0$ oocistos/L no ponto de captação, recomenda-se que a turbidez do efluente filtrado (filtração rápida) seja $\leq 0,3$ uT em 95% das amostras mensais, ou que, alternativamente, se empregue processo de desinfecção que comprovadamente alcance a mesma eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp.⁴ (BRASIL, 2017).

Quanto ao atendimento ao padrão de turbidez no Brasil, em geral encontram-se na literatura estudos de avaliação/otimização de uma determinada ETA ou de número reduzido de ETAs (< 10 ETAs) (BASTOS *et al.*, 2006; OLIVEIRA, *et al.*, 2006; FERREIRA FILHO e MARCHETTO, 2006; PEREIRA *et al.*, 2018; MELO *et al.* 2019). Alguns estudos apresentam, como indicador, o índice de amostras em conformidade com o padrão de turbidez, mas não os valores de turbidez em si (FONSECA e GABRIEL, 2015; ARRUDA, 2015; MELO *et al.* 2015), ou ainda, de conformidade do número de amostras ao definido no plano de amostragem da norma (CABRAL *et al.*, 2018). Esforços para caracterização e avaliação da turbidez alcançada em um número maior de ETAs brasileiras são mais escassos, como, por exemplo, os estudos realizados por Viana (2011) e Melo (2019).

Viana (2011) avaliou banco de dados de turbidez de 44 ETAs brasileiras, localizadas em sua maioria nos estados de Minas Gerais (trinta) e São Paulo (nove), mas também no Paraná (três ETAs) e Amazonas e Mato Grosso do Sul (uma ETA cada). A análise de frequência dos dados de água filtrada individual, água filtrada composta (mais de um filtro) e água tratada (imagina-se, incluindo amostras de água pós-desinfecção e após correção de pH) evidenciou dificuldades em se alcançar baixos valores de turbidez. O limite de 0,15 uT na água filtrada foi raramente alcançado na maioria das ETAs avaliadas. Embora algumas ETAs tenham

³ No momento da finalização do presente trabalho, a minuta para a nova edição da norma tinha sido concluída e se encontrava prestes a ser submetida a consulta pública.

⁴ Na minuta para a nova edição da norma essa condição passa a ser de atendimento obrigatório.

alcançado elevada margem de dados com turbidez abaixo de 0,30 uT, o percentual de ETAs que atendeu este limite foi baixo. Por sua vez, o padrão de 0,50 uT foi atingido por metade das ETAs em frequência superior a 80% dos dados, enquanto o limite de 1,0 uT foi sistematicamente atendido pela quase totalidade das estações.

O estudo de Melo (2019), analisando 45 ETAs de três estados brasileiros com dados de 2010 a 2017, revelou também grande dificuldade de atendimento aos limites mais restritivos, como 0,1 uT, 0,3 uT e 0,5 uT. Com base em análise de confiabilidade, método probabilístico de cálculo da fração de tempo em que se alcançam valores esperados, o limite de 0,1 uT se mostrou praticamente inalcançável na maioria das ETAs; cerca de 50% das estações registraram percentual de atendimento esperado ao limite de 0,3 uT inferior a 50% do tempo; já para o limite de 0,5 uT, mais de 60% das estações apresentaram percentual de atendimento esperado menor que 95% das análises mensais, conforme exigido em norma.

Internacionalmente, a literatura a respeito da turbidez alcançada em ETAs também não é muito extensa. Cabe menção aos esforços empreendidos pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) junto aos órgãos estaduais para adequação da qualidade da água tratada, por meio de programas de acompanhamento técnico que retroalimentaram e ajudaram a embasar as revisões dos padrões da própria USEPA (RENNER *et al.* 1993, CONSONERY *et al.*, 1997, USEPA, 1998, LUSARDI e CONSONERY, 1999). Neste contexto, o Departamento de Proteção Ambiental do estado da Pensilvânia/EUA (DEP) mantém sistema de monitoramento da turbidez via *web* de 202 (58%) das ETAs do estado, das quais 97% apresentaram máxima turbidez diária de 0,3 uT e 76% de 0,1 uT em 2013 (DEP, 2014).

Dados de 2013 revelaram violações significativas em 27% dos sistemas de abastecimento de água nos EUA (USEPA, 2015), entendendo-se “violações significativas” como as violações de padrões baseados em saúde, como VMPs ou exigências de tratamento, de amostragem ou de notificação. Em 7% dos sistemas as violações foram relacionadas à saúde, das quais 7% foram de limites de turbidez ou de exigência de tratamento; a maior parte das violações relacionadas à saúde se deu pela presença de coliformes na água. Fedinick *et al.* (2017), analisando dados dos EUA de 2015, identificaram 35% de ETAs com alguma violação e 10% de ETAs com violações relacionadas à saúde; cerca de 1,5% das ETAs apresentaram

violações relacionados à saúde dos padrões de turbidez e de exigências de tratamento, o que correspondeu a 15% do total de violações com impacto à saúde.

Allaire *et al.* (2018) analisaram dados de qualidade da água de todas ETAs dos EUA que abasteciam mais de 500 pessoas entre os anos de 1982 e 2015 - 17.900 ETAs responsáveis pelo abastecimento de 84% da população daquele país. Foram registradas violações dos padrões de qualidade da água relacionados à saúde em 9% das ETAs; cerca de 17% das violações estavam relacionadas aos padrões de turbidez e de tratamento exigido.

Ambos os estudos, Fedinick *et al.* (2017) e Allaire *et al.* (2018), levantam a questão da subnotificação dos dados de violações, tanto por parte das ETAs quanto dos sistemas estaduais de vigilância. Dados de auditorias dos dados da USEPA estimam que, do total de violações que impactam a saúde, 49% entre 2002 e 2004, 20% em 2007 e 26% em 2009 não foram informadas ou foram relatadas erroneamente (GAO, 2011).

A subnotificação pode limitar a capacidade de resposta dos diversos interessados neste tipo de informação: (i) os prestadores dos serviços de abastecimento, que podem não estar realizando o monitoramento adequado e assim perdem a capacidade de correção de falhas; (ii) a vigilância, que, no caso de não receber os dados de violações, não pode atuar adequadamente junto aos prestadores; (iii) os órgãos responsáveis por elaborar políticas públicas, por não terem em mãos um diagnóstico adequado da realidade; e (iv) os usuários, que podem ignorar riscos e perder capacidade de fazer cobranças e pressão política junto aos prestadores (BENNEAR e OLMSTEAD, 2008; GAO, 2011).

Bennear e Olmstead (2008) examinaram o impacto da provisão de informações obrigatórias sobre violações da qualidade da água potável para usuários em 517 sistemas de água no estado de Massachusetts/EUA de 1990 a 2003. Os resultados sugerem que a exigência de divulgar informações sobre violações de água potável, enviando informações diretamente aos domicílios anualmente, reduziram as violações totais entre 30% e 44%, e entre 40 e 57% as violações com impactos à saúde. No Brasil, a obrigatoriedade de provisão das informações da qualidade da água aos usuários foi estabelecida pelo Decreto N° 5.440/2005.

No Japão, Ohno *et al.* (2009) analisaram os dados de qualidade da água do cadastro nacional de milhares de ETAs entre os anos de 2001 a 2005. A turbidez

média encontrada foi de 0,09 uT e desvio padrão de 0,12 uT. Na época o padrão estabelecido na norma japonesa era 2 uT, padrão este que em 2007 passou para 0,10 uT quando houver indicativo da presença de *Cryptosporidium* na água bruta. Kosaka *et al.* (2019) citam que Asano *et al.*, (2016), analisando 20 ETAs, encontraram >99% dos dados abaixo de 0,03 uT.

De volta à realidade brasileira, apesar da já longa vigência do SISAGUA, poucos ainda são os estudos que se dedicaram a uma análise mais detalhada desse banco de dados e, neste sentido, se encontra o objetivo do presente trabalho: sistematização dos dados do SISAGUA de 2014 a 2017 e avaliação do atendimento aos limites de turbidez da água filtrada de 1,0 uT, 0,5 uT e 0,3 uT. Foi dada ênfase às estações com filtração rápida e captação em manancial superficial, por serem estas características compartilhadas pela maior parte das ETAs do país. ETAs com tratamento convencional (aquelas com as etapas de coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração rápida e desinfecção), estavam presentes em 2.817 municípios em 2008, correspondendo a aproximadamente 69% do volume de água tratada e distribuída por rede geral (IBGE, 2010; IBGE, 2011). Por sua vez, a captação em manancial superficial era realizada em 4.746 sistemas, contra 3.761 sistemas com manancial subterrâneo, ou em outros números: 2.634 municípios (48%) com manancial superficial, 735 municípios (13%) com os dois tipos de manancial e 2.175 municípios (39%) com manancial exclusivamente subterrâneo (ANA, 2010).

2.2 Resultados

2.2.1 Sistematização inicial do banco de dados

O banco de dados original contava com 51.689 dados mensais de P95I, de 3.945 diferentes SAA ou ETAs, localizadas em 2.006 municípios. Esse banco de dados passou por seis etapas de verificação e validação conforme representado na **Figura 2.1**.

Figura 2.1 – Etapas de verificação e validação para limpeza do banco de dados original do SISAGUA.

Banco de dados original		ETAs 3.945	Dados P95I 51.689
1ª Etapa	ETAs que não apresentaram nenhuma inserção de dados	3.646	51.689
2ª Etapa	ETAs com, no máximo, uma amostra de turbidez por mês em todo período	3.196	51.689
3ª Etapa	Cadastrados duplicados e de poços	2.821	51.689
4ª Etapa	Valores acima de 10 uT	2.821	48.885
5ª Etapa	Validação do P95I com o P95C	2.106	45.986
6ª Etapa	Outliers $>3^{\circ}Q+[1,5 \times (3^{\circ}Q-1^{\circ}Q)]$	2.036	41.358

Do conjunto inicial foram excluídos 20% dos dados de P95I, 48% dos SAA cadastrados e 27% dos municípios. A base de dados do presente estudo ficou então composta por 41.358 dados de P95I, de 2.036 ETAs com captação em manancial superficial e tratamento por filtração rápida, localizadas em 1.464 municípios. Esse conjunto representa 43% dos municípios e das ETAs com captação em mananciais superficiais cadastrados pela ANA, 28% do total de municípios cujos gestores responderam ao SNIS em 2016, 26% do total de municípios com abastecimento de água levantados pela PNSB-IBGE em 2008 e 26% do total de municípios brasileiros levantados no censo de 2010 (Tabela 2.1).

O conjunto avaliado conta com ETAs de todas as regiões geográficas, mas há algumas limitações em termos de estados. Paraíba, Piauí e Rio Grande do Norte, que já contavam com poucas ETAs nos dados originais, acabaram sem representação no conjunto final e se juntaram ao Amapá, que já não contava com nenhuma ETA inicialmente. Já os estados do Acre, Amazonas, Distrito Federal, Pará, Roraima e Sergipe estão representados por menos de cinco ETAs, em sua

maioria localizadas em apenas um município. Por outro lado, tomando como referência o Atlas da ANA (ANA, 2010), os estados do Tocantins e do Ceará se apresentam com praticamente todas as suas ETAs, enquanto nos estados da Bahia, Espírito Santo, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul mais de 60% das respectivas ETAs estão representadas. O Nordeste foi a macrorregião com menor representatividade, com exceção apenas dos já citados estados da Bahia e do Ceará (Figura 2.2).

Tabela 2.1 - Número de municípios e ETAs em diferentes bases de dados, por estado, macrorregião e o total do Brasil.

Localização	Municípios					ETAs		
	IBGE ¹ (2010)	IBGE ² (2008)	SNIS ³ (2016)	AANA ⁴ (2010)	SISAGUA ⁵ (2014-2017)	IIBGE ⁶ (2008)	ANA ⁷ (2010)	SISAGUA ⁸ (2014-2017)
Brasil	5.565	5.531	5.161	3.369	1.464	6.040	4.746	2.036
Norte	449	442	361	185	61	341	210	73
RO	52	48	49	42	6	53	44	7
AC	22	22	22	18	1	30	22	1
AM	62	62	30	18	1	55	21	4
RR	15	15	15	6	1	12	7	3
PA	143	140	95	34	2	66	46	2
AP	16	16	16	12	0	25	13	0
TO	139	139	134	55	50	100	57	56
Nordeste	1.794	1.772	1.623	1.138	321	1.689	1.554	444
MA	217	215	166	54	5	66	57	6
PI	224	218	176	47	0	43	48	0
CE	184	184	175	120	101	483	135	135
RN	167	167	163	88	0	81	101	0
PB	223	212	207	182	0	131	276	0
PE	185	185	179	167	8	243	340	9
AL	102	102	87	86	5	64	101	6
SE	75	75	75	55	3	52	89	3
BA	417	414	395	339	199	526	407	285
Sudeste	1.668	1.668	1.598	1.160	584	2.206	1.822	914
MG	853	853	811	683	396	1.143	1.020	577
ES	78	78	77	78	45	279	113	79
RJ	92	92	88	89	15	216	173	65
SP	645	645	622	310	128	568	516	193
Sul	1.188	1.185	1.144	598	339	1.398	823	420
PR	399	399	394	175	151	389	242	173
SC	293	292	287	222	149	437	309	195
RS	496	494	463	201	39	572	272	52
Centro-Oeste	466	464	435	288	159	406	337	185
MS	78	78	77	16	10	36	17	11
MT	141	139	116	81	41	127	99	57
GO	246	246	241	190	107	234	202	116
DF	1	1	1	1	1	9	19	1

Fonte: IBGE (2008); IBGE (2010); ANA (2010); SNIS (2016); SISAGUA (2014-2017).

(1) - Municípios brasileiros. (2) - Municípios com abastecimento de água. (3) - Municípios com abastecimento de água. (4) - Municípios com captação superficial/mista. (5) - Municípios que possuem ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017). (6) - ETAs no Brasil. (7) - ETAs com captação superficial/mista. (8) - ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017).

2.2.2 Evolução da alimentação do SISAGUA com dados de controle da turbidez da água filtrada

Os números totais de municípios, de ETAs e de amostras de turbidez analisadas mensalmente nas ETAs e informados no SISAGUA apresentaram comportamento parecido, com aumento gradual no período analisado e saltos entre anos subsequentes, praticamente triplicando seus valores entre 2014 e 2017 (Figura 2.2, Figura 2.3 e Figura 2.4). Em todos os anos verifica-se diminuição de dados nos últimos meses do ano. No início de 2014 cerca de 20% das ETAs e municípios cadastrados enviaram seus dados ao SISAGUA, crescendo a seguir para valores próximos a 30% no final do mesmo ano, 40% no ano seguinte, 50% em 2016 e 60% em 2017. O teste de Cox-Stuart confirmou tendência significativa ($p < 0,0001$) de aumento do percentual de ETAs com dados de turbidez (P95I) informados ao longo do período avaliado, janeiro de 2014 (18,0%) a dezembro de 2017 (53,6%).

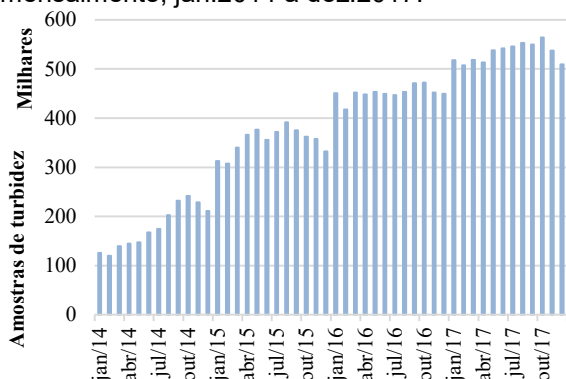
O número total de amostras mensais de turbidez realizadas e informadas no SISAGUA (Figura 2.2) cresceu de forma semelhante ao crescimento do número de municípios (Figura 2.3) e ETAs (Figura 2.4) com dados informados ao longo do período analisado. Retrabalhando os dados das Figuras 2.2 e 2.3 em termos de médias de análises por ETA, apresentam-se os seguintes resultados: os seis primeiros meses de 2014 apresentaram as menores médias de amostras mensais por ETA, com média de 361 amostras mensais/ETA; após esse período a média de amostras mensais por ETA subiu para 443 amostras mensais/ETA e não variou muito.

Anualmente, a evolução do número de municípios e de ETAs com dados informados no SISAGUA se deu da seguinte forma: 610 municípios e 801 ETAs em 2014, 907 municípios e 1.202 ETAs em 2015, 1.076 municípios e 1.440 ETAs em 2016 e 1.232 municípios e 1.671 ETAs em 2017. Porém, o número de municípios e de ETAs sem resposta ainda se mostrou muito elevado, nos melhores meses, 35% dos municípios e 38% das ETAs. Ao se analisar o total de dados mensais de P95I de todo o período (janeiro de 2014 a dezembro de 2017) e todas as ETAs cadastradas, nota-se que há ocorrência maior de dados faltantes (56.346 dados, ou 58%) do que de dados informados (41.358 dados ou 42%).

Quanto à frequência de envio de dados de uma mesma ETA, foram informados dados em apenas um mês de 160 ETAs (8%). Incluindo estas, foram

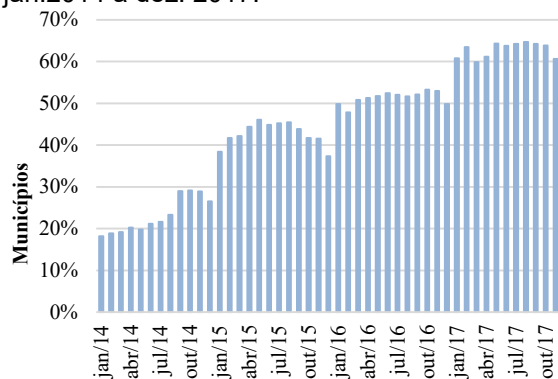
informados dados por até 12 meses de 795 ETAs (39%) e de 1.237 ETAs (61%) por até 24 meses. Por outro lado, dados de 798 ETAs (39%) foram informados por mais de 24 meses, de 337 ETAs (17%) por mais de 36 meses e de 30 ETAs (1,5%) em todos os 48 meses analisados (Figura 2.5).

Figura 2.2 - Número de amostras de turbidez analisadas e informadas ao SISAGUA mensalmente, jan.2014 a dez.2017.



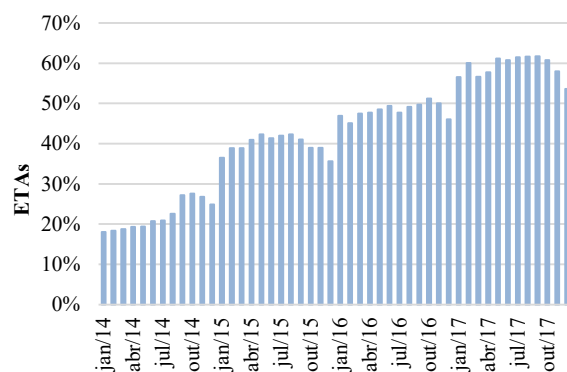
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Figura 2.3 - Percentual de municípios com dados informados no SISAGUA mensalmente, jan.2014 a dez. 2017.



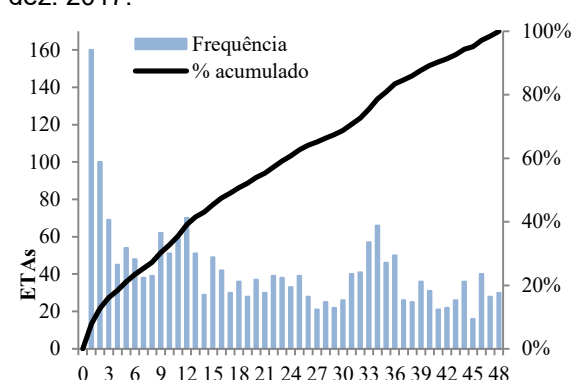
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Figura 2.4 - Percentual de ETAs com dados informados no SISAGUA mensalmente, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Figura 2.5 - Distribuição de frequência e frequência acumulada do número de ETAs pelo número total de meses com dados de P95I informados no SISAGUA, jan.2014 a dez. 2017.



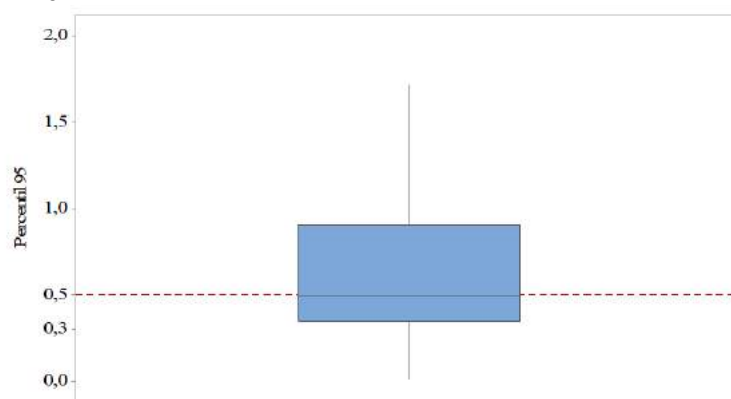
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

2.2.3 Estatística descritiva dos dados de turbidez

Os valores do percentil 95 dos dados de turbidez da água filtrada (P95I) variaram de 0,01 uT a 1,93 uT, com média de 0,64 uT e mediana igual ao valor do padrão de 0,5 uT (Figura 2.6). A distribuição de frequência dos valores de P95I, apresentada no histograma da Figura 2.7, indica aumento da frequência do número de dados desde os valores mais baixos de turbidez até 0,5 uT (padrão de

potabilidade brasileiro, aplicável em 95% dos dados mensais), decaindo a seguir até 1,0 uT (limite superior da norma brasileira para qualquer análise pontual), quando há elevação pontual para, na sequência, voltar a decair de forma gradual. Esta distribuição de frequência dos valores de P95I não apresentou aderência significativa, pelo teste de Anderson Darling, a nenhuma distribuição de probabilidade pré-definida (normal, lognormal, exponencial, Weibull, gama, logística e loglogística).

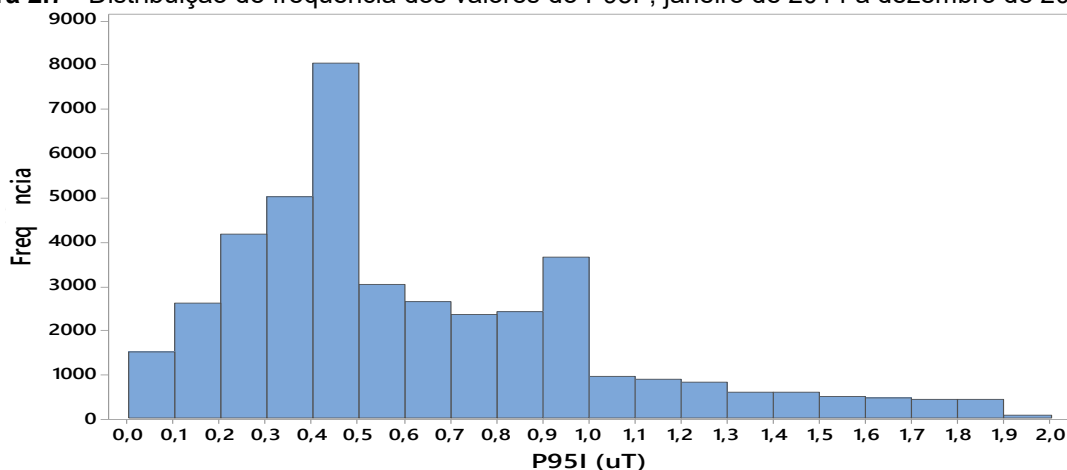
Figura 2.6 - Representação gráfica¹ da estatística descritiva do total dos valores do P95I², janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1)- Primeiro e terceiros quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos *box-plot*); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais). (2)- 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente, valor informado no SISAGUA.

Figura 2.7 - Distribuição de frequência dos valores do P95I¹, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

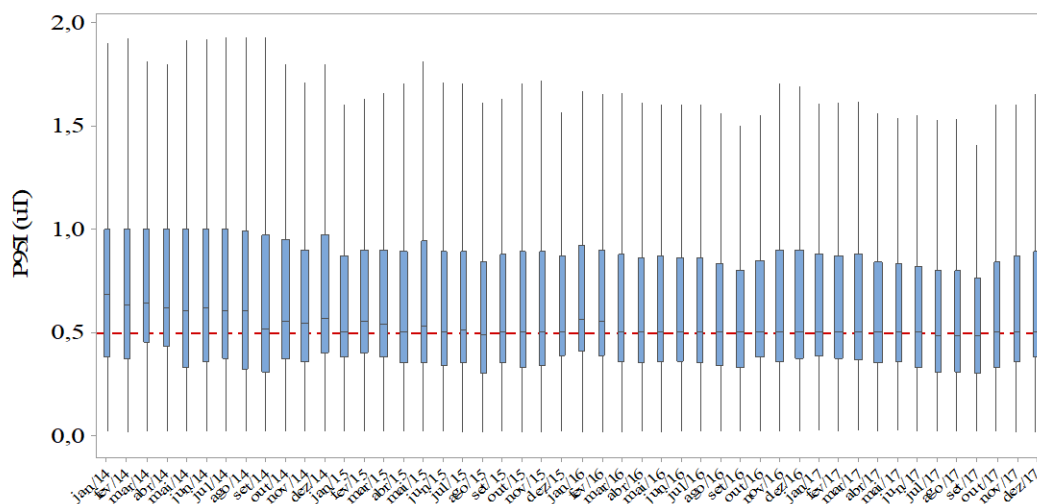


Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

A dificuldade de atendimento ao padrão de 0,3 uT - menos de 25% dos dados de P95I nessa faixa de turbidez, bem como ao padrão de 0,5 uT - mediana abaixo desse valor somente em poucos meses de 2017 - pode ser verificada na Figura 2.8. Observa-se também um indicativo da diminuição do número de ETAs com o P95I acima de 1,0 uT ao longo do tempo, indicada pelo afastamento dos valores do 3º quartil dos dados de P95I deste limite de 1,0 uT ao longo dos meses. Além disso, como os valores do 1º quartil dos dados de P95I não apresentaram redução na mesma proporção houve um achatamento dos intervalos interquartílicos.

Figura 2.8 - Representação gráfica¹ da estatística descritiva dos valores do P95I², janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

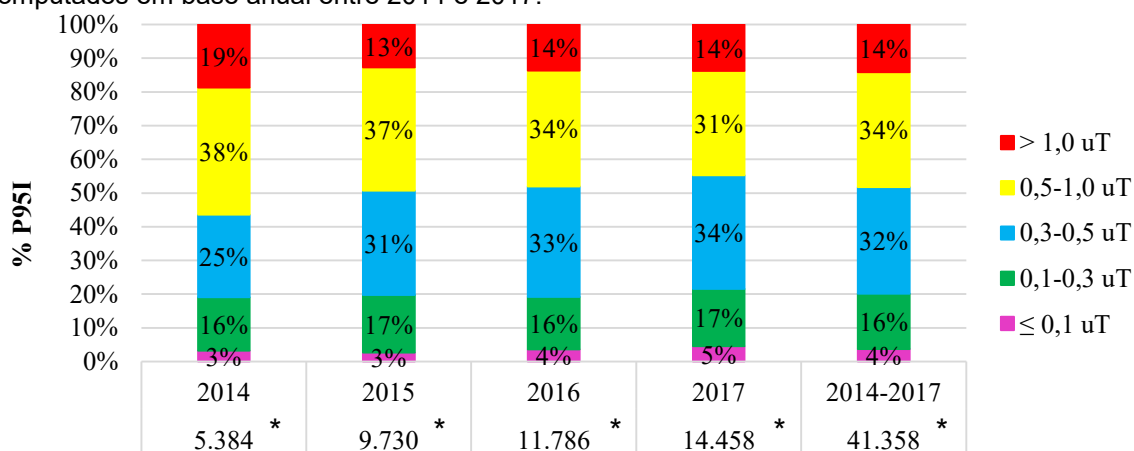
(1) - Primeiro e terceiros quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos *box-plot*); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais). (2) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

2.2.4 Atendimento aos limites de turbidez especificados em normas de qualidade da água para consumo humano

O atendimento ao padrão de potabilidade brasileiro ($P95I \leq 0,5$ uT) se deu em 52% dos dados mensais informados entre janeiro 2014 a dezembro 2017, enquanto 14% dos mesmos dados de P95I estiveram acima de 1,0 uT – padrão de potabilidade vigente até a versão de 2011 da norma brasileira e atual VMP em 5% das amostras mensais. Valores mais restritivos foram alcançados com menor frequência: 20% dos dados de P95I se mostraram iguais ou abaixo de 0,3 uT e apenas 4% iguais ou abaixo de 0,1 uT (Figura 2.9). Verifica-se que, ao longo do

período analisado, houve ligeiro crescimento do percentual de atendimento aos limites mais baixos de turbidez, principalmente na faixa entre 0,3 e 0,5 uT. Esta evolução é mais expressiva em números absolutos, pois o número de respostas também aumentou ao longo dos anos. Em termos de atendimento ao padrão de 0,5 uT, isto é, dados mensais de $P95I \leq 0,5$ uT, esta foi a evolução: 2.349 dados (44%) em 2014, 4.954 dados (51%) em 2015, 6.125 dados (52%) em 2016, e 7.985 dados, ou 55% do total de 14.458 dados reportados em 2017 (Figura 2.9).

Figura 2.9 - Distribuição de frequência por faixa de turbidez do percentual dos valores do P95I¹ computados em base anual entre 2014 e 2017.



* - Número de dados de P95I informados.

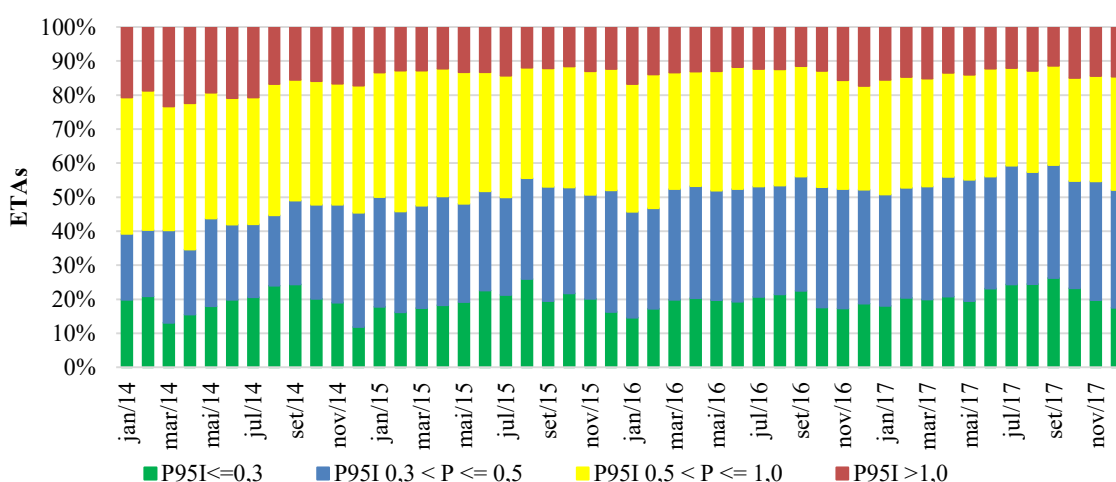
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

A análise mensal também demonstrou ligeiro crescimento do percentual de ETAs que atenderam ao padrão de 0,5 uT ao longo do período analisado (Figura 2.10). O menor percentual mensal de atendimento a este padrão se deu em abril de 2014, em 136 ETAs (ou 34% das ETAs com dados informados daquele mês); o maior percentual ocorreu em setembro de 2017: 748 ETAs, ou aproximadamente 60% das ETAs que tiveram dados informados daquele mês. O atendimento ao padrão de 0,5 uT conheceu esta evolução: em torno de 40% das ETAs em 2014, em aproximadamente a 50% das ETAs nos dois anos seguintes e entre 50 e 60% em 2017. Já o atendimento ao limite de 0,3 uT ($P95I \leq 0,3$ uT) foi verificado entre 10% e 25% das ETAs. As oscilações dos valores de P95I até 0,3 uT e até 0,5 uT parecem obedecer a ciclos anuais, salvo exceções: elevação dos percentuais de atendimento até próximo ao mês de setembro, posterior redução até o mês de janeiro, e nova elevação a partir daí. Esses ciclos parecem se repetir anualmente, mas com leve

elevação geral dos percentuais de ETAs em que os padrões foram atendidos ao longo do período analisado. Por sua vez, o percentual de ETAs com P95I acima de 1,0 uT diminuiu no período: passando de percentuais mensais em torno de 20% em 2014 a percentuais mensais que variaram de 11% a 15% em 2017. Porém, em termos de números absolutos houve aumento: de 91 ETAs, número máximo mensal de ETAs com P95I acima de 1,0 uT em 2014, para 143 ETAs, número mínimo mensal em 2017, o que tem relação com o aumento do número de ETAs cadastradas e com dados informados no SISAGUA ao longo do período avaliado.

Figura 2.10 - Percentual de ETAs distribuídas por faixas de valores do P95I¹ (abaixo de 0,3 uT; 0,5 uT e 1,0 uT, e acima de 1,0 uT) em base mensal, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1)- valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

A análise visual do comportamento temporal dos valores mensais do P95I de turbidez da água filtrada corrobora a impressão de melhora da qualidade da água filtrada produzida no país ao longo do período analisado, ainda que de forma tímida e com certa acomodação nos meses mais recentes (Figura 2.11).

Por exemplo, entre as ETAs com melhor desempenho, 25% (não necessariamente as mesmas ETAs) permaneceram com valores de P95I sempre abaixo de 0,5 uT, variando entre 0,3 uT e 0,4 uT em 2017; 10% se mantiveram por todo período com valores de P95I abaixo de 0,3 uT, na maior parte do tempo variando em torno de 0,2 uT. No início de 2014 o valor do P95I da mediana das ETAs (50% das ETAs) se encontrava em torno de 0,7 uT, chegando em 2017 em valores próximos a 0,5 uT. As 25% e 10% ETAs com pior desempenho permaneceram, respectivamente, com valores de P95I acima de 0,8 uT e 1,1 uT por

tudo período analisado; mas mesmo estas apresentaram melhora ao longo tempo, aliás, estas foram as que apresentaram melhora mais nítida.

O teste de Cox-Stuart confirma tendência de aumento do percentual de ETAs que atenderam aos limites de 0,3 uT e 0,5 uT e também de diminuição do percentual de ETAs que apresentaram $P95I > 1,0$ uT ao longo do período avaliado (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

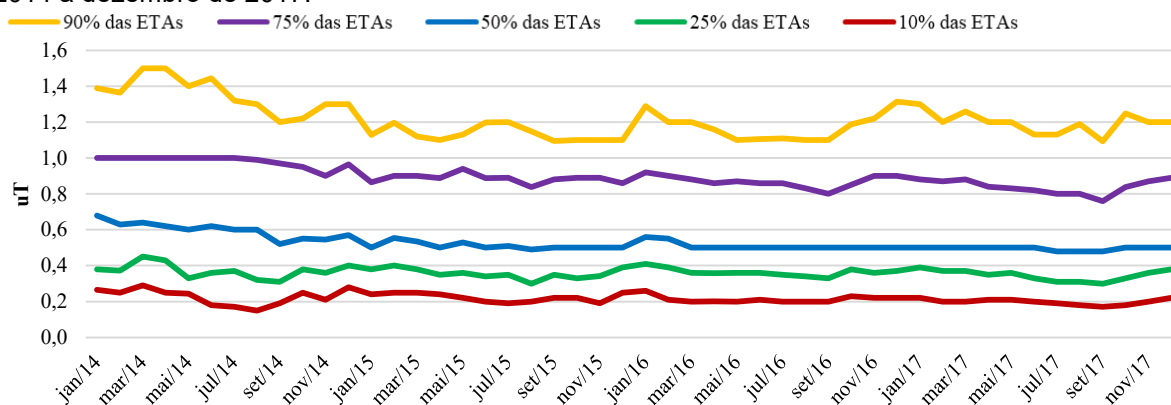
P95I ¹ (uT)	Percentual de ETAs			p
	jan.2014	Média do período	dez.2017	
≤0,3	42,3%	48,9%	52,9%	<0,0001***
≤0,5	67,9%	77,0%	81,1%	<0,0001***
>1,0	5,2%	4,0%	3,8%	0,033*

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

* $0,01 \leq p < 0,05$; *** $p < 0,0001$

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 2.11 - Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores do P95I¹, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Poucas ETAs conseguiram manter frequência elevada no envio de dados, bem como de atendimento ao padrão de $P95I \leq 0,5$ uT no período analisado. Do total de 2.036 ETAs, 64% tiveram seus dados informados por 12 meses ou mais, 41% por 24 meses ou mais, 19% por 36 meses ou mais e apenas 1,5% tiveram seus dados informados em todos os 48 meses do período estudado (Tabela 2.3).

Cerca de 26% do total das ETAs não atenderam ao padrão de 0,5 uT em nenhum mês, 10% atenderam em apenas um mês, 5% em dois meses e percentuais

ainda menores por mais meses (Figura 2.12). Ao avaliar o atendimento por períodos maiores de meses, verifica-se que 702 ETAs atenderam ao padrão de 0,5 uT por pelo menos 12 meses, o que correspondeu a 34% do total de ETAs e 54% das ETAs com dados informados no SISAGUA por igual período. Apenas seis ETAs atenderam ao padrão em todos os 48 meses, o que corresponde a 0,3% do total de ETAs analisadas e 20% das ETAs com dados informados por igual período. Percentuais menores de atendimento são verificados para padrões mais restritivos de turbidez, como por exemplo, 0,3 uT, e para períodos maiores de tempo (Tabela 2.3).

Ao se analisar o atendimento ao padrão de 0,5 uT ano a ano, verifica-se que houve evolução positiva na frequência de atendimento ao longo do período analisado: diminuição do número de ETAs que atenderam ao padrão por poucos meses, ou que não atenderam e, por outro lado, aumento do atendimento por um número maior de meses. Como exemplo, o percentual de ETAs com nenhum atendimento no ano de 2014 foi de 42%, contra 31% em 2017, enquanto o atendimento pelos 12 meses do ano passou de 8% em 2014 para 12% em 2017 (Figura 2.13). Chama atenção o elevado número de ETAs que apresentaram P95I acima de 1,0 uT: 48% das ETAs em pelo menos um mês; por 12 meses ou mais foram 7% do total das ETAs e 12% das que tiveram dados informados por igual período. Já as ETAs que apresentaram pelo menos uma amostra acima de 1,0 uT em seus dados mensais representaram 73% do total de ETAs, e as que infringiram este VMP por 12 meses ou mais representaram 27% do total e 41% das ETAs com dados informados no SISAGUA por igual período (Tabela 2.3).

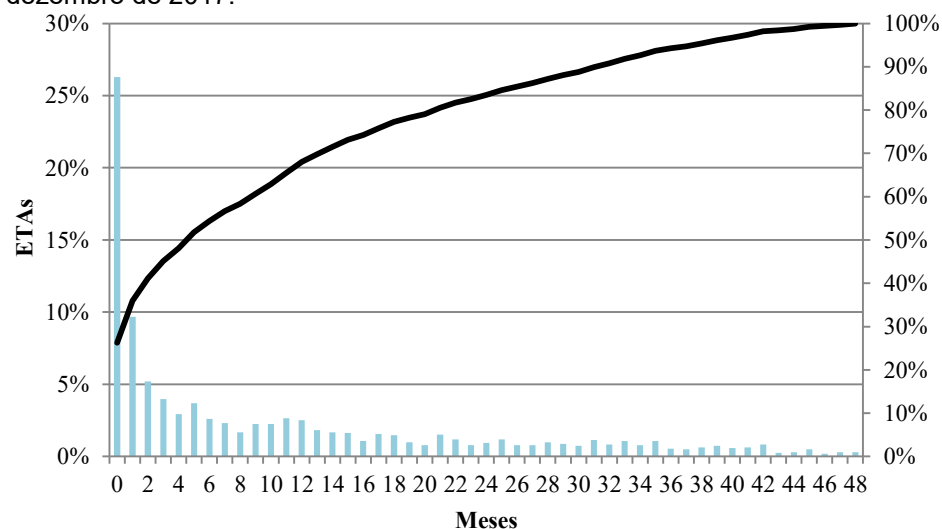
Tabela 2.3 - Número de ETAs (N) com dados informados no SISAGUA por determinado número de meses, por faixas de valores informados do P95I¹ e com número de amostras com valores acima de 1,0 uT, e respectivos percentuais em relação ao total de ETAs (%Nt) e ao número de ETAs com dados informados no SISAGUA (%Ni), de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Meses	Informaram		P95I ≤ 0,3uT			P95I ≤ 0,5uT			P95I ≤ 1,0uT			P95I > 1,0uT			Amostras > 1,0uT		
	N°	%NT	N°	%Nt	%Ni	N°	%Nt	%Ni	N°	%Nt	%Ni	N°	%Nt	%Ni	N°	%Nt	%Ni
≥ 1 mês	2.036	100%	906	44%	44%	1.501	74%	74%	1.908	94%	94%	982	48%	48%	1.491	73%	73%
≥ 12 meses	1.311	64%	248	12%	19%	702	34%	54%	1.139	56%	87%	151	7%	12%	541	27%	41%
≥ 24 meses	832	41%	111	5,5%	13%	356	17%	43%	687	34%	83%	20	1%	2%	206	10%	25%
≥ 36 meses	387	19%	24	1,3%	6%	128	6,3%	33%	294	14%	76%	0	0%	0%	31	1,5%	8,0%
= 48 meses	30	1,5%	3	0,1%	10%	6	0,3%	20%	19	0,9%	63%	0	0%	0%	2	0,1%	6,7%

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

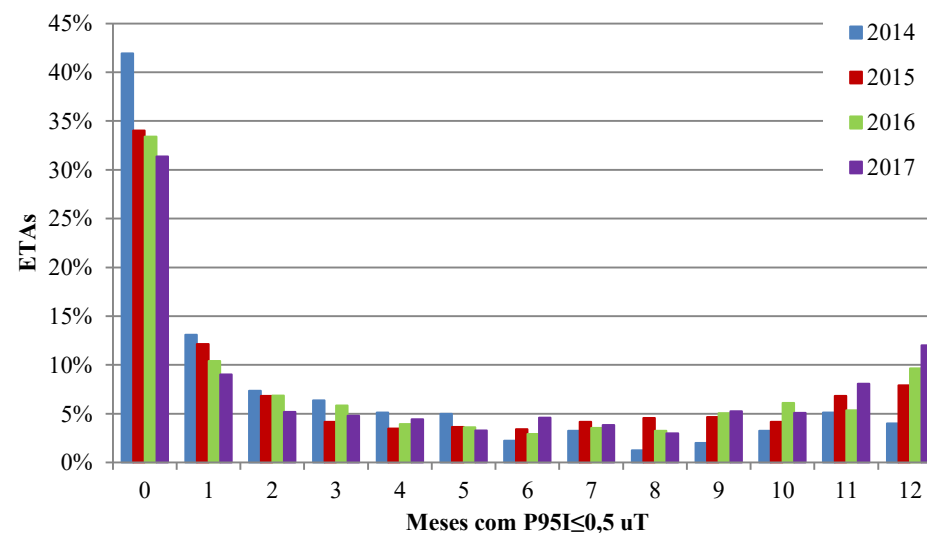
(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 2.12 - Distribuição de frequência e frequência acumulada de ETAs que atenderam por determinado número de meses ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira (P95I ≤ 0,5 uT), de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Figura 2.13 - Distribuição de frequência de ETAs que atenderam por determinado número de meses ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira (P95I ≤ 0,5 uT), de 2014, 2015, 2016 e 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Os dados médios dos percentis 95 dos dados mensais de turbidez, como esperado, apresentaram alta correlação negativa com o percentual de dados abaixo do padrão 0,5 uT ($\rho = -0,911$). Ou seja, quanto maior a média do P95I no período (janeiro de 2014 a dezembro de 2017), menor o percentual de atendimento ao padrão de 0,5 uT. A correlação entre a média dos dados de P95I e o percentual de dados informados no SISAGUA também se mostrou negativa, mas com baixo valor ($\rho = -0,171$). Por sua vez, a correlação entre o percentual de dados informados e o percentual de dados abaixo do padrão 0,5 uT ($P95I \leq 0,5 \text{ uT}$) foi positiva e com baixa ($\rho = 0,161$) (Tabela 2.4). Esses dois últimos resultados podem ser interpretados como indícios que o maior envio de dados de ETAs possa evidenciar valores mais baixos de turbidez.

Tabela 2.4 - Correlação de Spearman dos valores médios P95I¹, do percentual de dados de P95I informados no SISAGUA e percentual de dados de $P95I \leq 0,5 \text{ uT}$, no período de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Parâmetro	% dados informados no SISAGUA		% $P95I \leq 0,5 \text{ uT}$	
	Coeficiente de Spearman (ρ)	p	Coeficiente de Spearman (ρ)	p
Média P95I (uT)	-0,171	<0,001	-0,911	<0,001
% dados informados no SISAGUA			0,161	<0,001

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

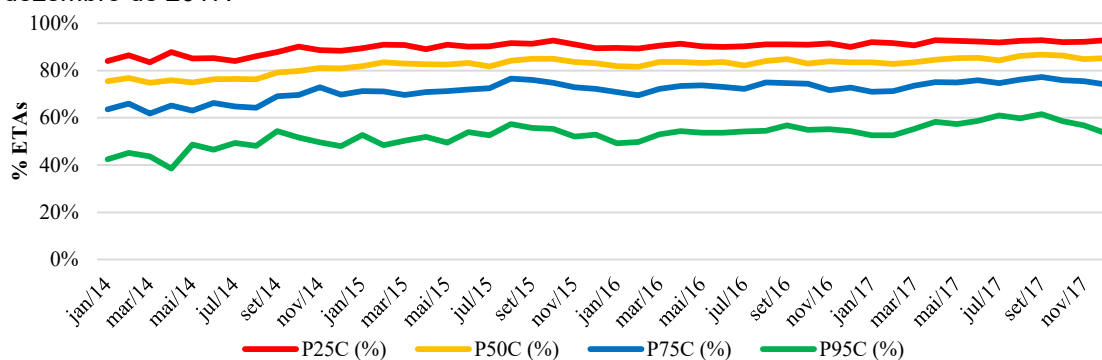
2.2.5 Metas progressivas de atendimento ao padrão de turbidez estabelecidas na Portaria 2914/2011

Com o número de amostras com turbidez abaixo de 0,5 uT e o número total de amostras analisadas mensalmente foi possível verificar o cumprimento das metas progressivas de atendimento a este padrão: em 25%, 50%, 75% e 95% das medidas de turbidez por mês em cada ano subsequente ao da promulgação da Portaria 2914/2011. Portanto, essa evolução percentual deveria ter sido cumprida até 2016, mas algumas ETAs não conseguiram se adequar sequer à meta menos exigente, de 25% dos dados mensais abaixo de 0,5 uT.

Todos os percentuais de atendimento ao padrão de turbidez avaliados, 25%, 50%, 75% e 95% dos $P95I \leq 0,5 \text{ uT}$, apresentaram comportamento semelhante, com crescimento do percentual de ETAs que os alcançaram ao longo do período

analisado. O percentil $25 \leq 0,5$ uT, em vigor a partir do início de 2013, foi atendido por mais de 80% das ETAs em todo período, sendo que a partir de 2015 foi atendido por 90% ou mais das ETAs, chegando ao valor máximo de 93% das ETAs em alguns meses de 2017. O percentil $50 \leq 0,5$ uT, meta de 2014, foi atendido por aproximadamente 80% das ETAs naquele ano, chegando a 85% das ETAs em 2017. O percentil $75 \leq 0,5$ uT, meta de 2015, foi alcançado em 70% a 77% ETAs naquele ano e permaneceu nessa faixa até o final de 2017. Por fim, o percentil $95 \leq 0,5$ uT, meta definitiva a partir de 2016, foi atendido por um pouco mais de 50% das ETAs naquele ano e entre 53% e 62% das ETAs em 2017 (Figura 2.14).

Figura 2.14 – Evolução temporal (mensal) do percentual de ETAs que atenderam ao padrão de turbidez $\leq 0,5$ uT em 25%, 50%, 75% e 95% das amostras mensais de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



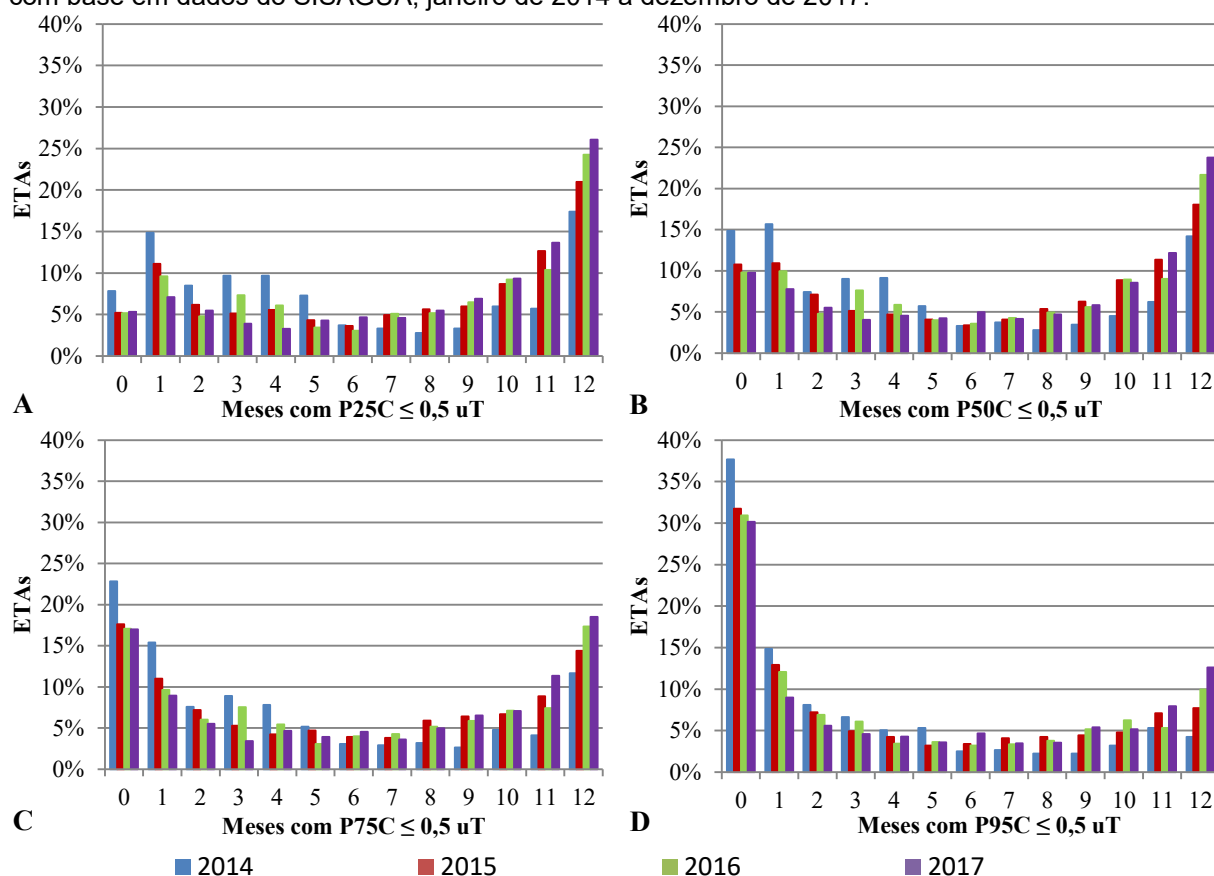
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Na Figura 2.15, o cumprimento dessas metas de turbidez da água filtrada é apresentado em termos de percentual de ETAs que as atenderam por número de meses em cada ano do período avaliado. Em linhas gerais, nota-se um maior número de ETAs com desempenhos muito ruins (atendimento das metas em poucos meses – de zero a três meses - de forma decrescente) e, no outro extremo, com os melhores desempenhos (atendimento das metas crescente de oito a doze meses); intermediariamente encontram-se números mais baixos de ETAs com atendimento das metas entre quatro e sete meses.

Nota-se ainda que as metas menos restritivas (25% e 50% das amostras medidas mensalmente com valores $\leq 0,5$ uT, Figura 2.15 A e B) são mais facilmente atendidas (número maior de ETAs em maior número de meses), enquanto as mais restritivas (75% e 95% das amostras medidas mensalmente com valores $\leq 0,5$ uT, Figura 2.15 C e D) têm atendimento mais difícil (número maior de ETAs em menor número de meses).

Por fim, destaca-se que, em que pese a observação de tendência geral de melhora, no país como um todo, nenhuma das metas esteve sequer perto de ser integralmente atendida. Por exemplo, em 2017: (i) apenas pouco mais de 25% das ETAs produziram água filtrada com 25% dos dados medidos mensalmente com turbidez $\leq 0,5$ uT por doze meses (Figura 2.15 A); (ii) cerca de 30% das ETAs não lograram produzir água filtrada com 95% dos dados medidos mensalmente em nenhum mês (Figura 2.15 D); (iii) apenas cerca de 13% das ETAs produziram água filtrada com 95% dos dados medidos mensalmente com turbidez $\leq 0,5$ uT por doze meses (Figura 2.15 D).

Figura 2.15 - Percentual de ETAs que atenderam por determinado número de meses o padrão de turbidez $\leq 0,5$ uT em 25% (A), 50% (B), 75%(C) e 95%(D) das amostras de turbidez analisadas mensalmente nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017; percentuais de atendimento calculados (P95C) com base em dados do SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

2.3 Discussão

De início cumpre destacar que os resultados apresentados trazem limitações intrínsecas a um banco de dados cuja forma de preenchimento não é padronizada, pois os dados relativos ao controle de qualidade da água ora são inseridos no sistema diretamente pelos prestadores de serviços, ora são enviados às instâncias da Vigilância (por exemplo, secretarias municipais ou estaduais de saúde) que ficam responsáveis por inseri-los no sistema. Tanto é que na etapa de verificação e validação dos dados deste trabalho foi excluído um elevado número de inconsistências. Contudo, o SISAGUA ainda se apresenta como o banco de dados de qualidade da água para consumo humano no Brasil mais completo e, portanto, sua análise é passo fundamental para a compreensão dessa realidade no país.

Foram verificadas 24% menos informações de P95I (valor informado de turbidez correspondente ao 95º percentil dos dados de medidas por mês de turbidez da água filtrada) do que das demais informações de turbidez no banco de dados. Já na etapa de validação, foram retirados 6% dos valores de P95I, os quais não foram validados quando confrontados com os percentis calculados com base nos números de amostras por faixa de turbidez e total de amostras mensais. Esses altos índices de falta de informação e de informações não validadas podem indicar dificuldade na compreensão do significado e de cálculo dos valores de percentil 95º dos dados de amostras de turbidez a cada mês (P95I).

Foram assumidos como inconsistências e excluídos no presente estudo 20% dos dados de P95I. Este percentual de inconsistências encontra-se próximo aos valores mais baixos citados por uma auditoria dos dados da USEPA, porém em relação a todos os parâmetros e não só a turbidez (GAO, 2011). Nessa auditoria, cujas conclusões e recomendações bem se aplicariam ao caso aqui em questão, salienta-se o impacto que dados incompletos ou imprecisos têm na capacidade de atuação do poder público, tanto na cobrança por melhores serviços, como na proposição de programas de apoio técnico-financeiro. Os motivos apontados para as falhas no banco de dados incluíram: a carência de treinamento dos responsáveis pelas ETAs, a insuficiência de recursos humanos, de financiamento e das atividades de fiscalização (GAO, 2011). Com vistas a melhorias foram indicadas as seguintes ações: (i) implementar auditorias rotineiras dos dados repassados pelas ETAs e pelas agências estaduais; (ii) estabelecer e acompanhar o cumprimento de metas de

envio de dados completos e precisos; (iii) melhorar a comunicação com os usuários, estabelecendo critérios que esclareçam os riscos envolvidos nas violações e ações tomadas para regularizá-las; (iv) realizar diagnóstico e planejamento interno com intuito de estabelecer programa permanente de melhoria da capacidade de supervisionar a qualidade da água das ETAs e fornecer informações completas e precisas aos usuários, ao público em geral e ao poder-público (GAO, 2011).

No Brasil, alguns estudos apontam deficiências e desafios parecidos para uma atuação mais efetiva da vigilância da qualidade da água, como, por exemplo: a falta de capacitação e treinamento dos profissionais envolvidos direta e indiretamente com a vigilância, deficiência de recursos humanos e financeiros, falta de prioridade, falta de atuação conjunta e articulada dos três níveis de governo (municipal, estadual e federal), necessidade de esclarecimento e divulgação dos riscos à saúde envolvidos em eventos e diferentes formas de abastecimento; em geral, os estudos salientam o imperativo da ação mais bem articulada entre os responsáveis pelo controle e pela vigilância da qualidade da água, bem como da importância de mecanismos de controle social e de participação da população (QUEIROZ *et al.*, 2009; BEVILACQUA *et al.*, 2014; GUERRA e SILVA, 2018).

Se por um lado há registros de esforços para resolução de alguns desses desafios, como a busca da consolidação do SISAGUA (OLIVEIRA JUNIOR *et al.* 2019) e a publicação de relatórios de acompanhamento do Vigiagua (BRASIL, 2015, 2016, 2017 e 2018), por outro, a persistência de baixos índices de alimentação do sistema de informações, de ocorrência elevada de dados inconsistentes (incluindo aparentes *outliers*) e, principalmente, do próprio cumprimento, ainda tímido, do padrão demonstram que ainda há muito a avançar.

Deming (1990) cita que qualquer processo produtivo está sujeito à variabilidade, que pode ser de natureza comum (aleatória) ou em função de causas especiais (não aleatórias). Souza (2018), citando Navidi (2010), identifica as principais fontes de causas especiais como: mau funcionamento de equipamentos, falha de operadores, flutuações das condições ambientais e variações nas propriedades das matérias primas. Assim, a falta de aleatoriedade dos valores de turbidez do P95I, os altos índices de valores acima do limite da norma de 1,0 uT e de valores extremos (*outliers*), são indicativos da ocorrência de variações na turbidez que não seriam inerentes ao processo produtivo, mas causados por eventos especiais não esperados, mas que, ainda assim deveriam ser identificados e

corrigidos com ação local dos responsáveis pelo controle dos processos de tratamento de água.

Vários estudos apontam o fator humano, quantidade e qualificação de operadores e gestores, como um dos principais, se não o principal, fatores determinantes da qualidade da água tratada em ETAs (LUSARDI e CONSONERY, 1999; USEPA, 1998; OHNO *et al.*, 2009; SCHEILI *et al.*, 2016). Outros fatores citados são a qualidade da água bruta, as técnicas de tratamento, a capacidade da ETA, a vazão da água tratada, os produtos utilizados no tratamento e a fiscalização dos serviços. Mas é atribuída especial importância ao fator humano, dada a capacidade de intervir positivamente na qualidade da água tratada, mesmo em situações adversas ou de causas especiais, como, por exemplo, eventos de piora da qualidade da água bruta (OHNO *et al.*, 2009).

Nesse sentido, uma das premissas do Plansab (BRASIL, 2014; BRASIL, 2019) é deslocar o tradicional foco das ações de saneamento em obras físicas de infraestrutura, denominadas medidas estruturais, para medidas estruturantes, ou seja, aquelas que, além de garantir intervenções para a modernização ou reorganização de sistemas, dão suporte político e gerencial à sustentabilidade da prestação de serviços, suscitando o aperfeiçoamento da gestão, como a capacitação técnica dos funcionários das empresas de saneamento. Como exemplo da efetividade da capacitação técnica, cita-se o estudo de Kirchhoff *et al.* (2019) em 2.487 sistemas de abastecimento de água no estado de Connecticut/EUA entre 1981 e 2017, em que se destaca que a atuação dos órgãos responsáveis pela fiscalização da qualidade da água apresentou maior efetividade em termos de impactos positivos na qualidade da água quando foi voltada ao aperfeiçoamento da operação por meio de assistência técnica em comparação à atuação voltada às ações punitivas.

Por fim, a possibilidade de um viés de seleção das “melhores ETAs” na análise do presente estudo, por serem essas que, em tese, teriam seus dados informados no SISAGUA em maior frequência, se for verdadeira, dá ainda mais peso ao cenário verificado de baixo atendimento ao padrão de potabilidade, que seria ainda pior ao se considerar as ETAs que não tiveram seus dados informados no SISAGUA.

2.4 Conclusões

A análise do banco de dados do SISAGUA no período de janeiro de 2014 e dezembro de 2017 relativo à turbidez da água filtrada de 2.036 ETAs com filtração rápida suprida por manancial superficial, localizadas em 1.464 municípios brasileiros de todas as regiões do país revelou:

(i) ocorrência elevada de inconsistências no banco de dados, com cerca de 20% dos valores mensais informados do 95º percentil dos dados de medidas turbidez da água filtrada identificados como inconsistentes ou *outliers*.

(ii) evolução positiva de alimentação do SISAGUA com dados mensais ao longo do período analisado, porém com persistência de lacunas elevadas de informações.

(iii) tendência geral de melhora da qualidade da água filtrada produzida no país, porém com persistência de grande número de ETAs que não alcançam o padrão de potabilidade da norma brasileira de 0,5 uT, sendo que:

- entre 2014 e 2017 48% das ETAs não atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais.
- em setembro de 2017, mês com os melhores resultados no período analisado, 38% das ETAs não atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais de turbidez.

Estes resultados revelam a necessidade de melhor mapeamento das dificuldades de atendimento ao padrão, por exemplo, eventuais diferenças regionais, associadas ao porte da ETAs, ou ao modelo de gestão dos serviços. Revelam também a importância da identificação de fatores de influência no não atendimento, por exemplo, se de ordem técnica ou gerencial, associada à capacidade instalada nas ETAs - infraestrutura física, laboratorial e recursos humanos. Esses aspectos são abordados nos capítulos seguintes.

2.5 Referências

ALLAIRE, M.; WU, H.; LALL, U. National trends in drinking water quality violations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.115, n.9, p. 2078–2083, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1719805115>. Acesso em: 5 jun. 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água**, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 3 jan. 2018.

ARRUDA, P. N., **Satisfação quanto aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados em Goiás e a influência da qualidade da água na saúde da população**. 2015. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ASANO, S.; SAITO, K.; MIYABAYASHI, Y.; KOIKE, Y.; ASAMI, M.; KOSAKA, K. Study on water quality management in drinking water by analysis of continuous monitoring data. In: Proc. Annu. Res. Conf. Japan Water Works Assoc. in Fiscal Year 2016, pp. 674–675 (em Japonês). Apud: Kosaka, K., Koike, Y., Miyabayashi, Y., Saito, K., Asami, M., Sasaki, M., AKIBA, M. National survey of utilization of continuous water quality monitors in water supply systems in Japan. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2019.006>. Acesso em: 3 jan. 2020.

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 princípios antigos para os novos desafios do milênio. Montevideu: AIDIS - Associação Americana de Engenharia Sanitária e Ambiental, Seção Uruguai, p.1-8. 2006.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; MIERZWA, J.C. Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano. In: PÁDUA, V.L.D. **Remoção de microrganismos emergentes e micro contaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: ABES, p. 327-360. 2009.

BEAUDEAU P. A Systematic Review of the Time Series Studies Addressing the Endemic Risk of Acute Gastroenteritis According to Drinking Water Operation Conditions in Urban Areas of Developed Countries. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v.15, n.5, p. 857, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph15050867>. Acesso em: 4 jun. 2019.

BENNEAR, L. S.; OLMSTEAD, S. M. The impacts of the “right to know”: Information disclosure and the violation of drinking water standards. **Journal of Environmental Economics and Management**. v.56, n.2, p. 117-130. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2008.03.002>. Acesso em: 4 mai. 2019.

BEVILACQUA, P. D. *et al.* Vigilância da qualidade da água para consumo humano no âmbito municipal: contornos, desafios e possibilidades. **Saude soc.**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 467-483, jun. 2014. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902014000200467&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 3 jun. 2019.

BRASIL. **Decreto Federal nº 79.367/77**, de 09 de março de 1977, que dispõe sobre normas e o padrão de potabilidade de água e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 2741. 10 mar. 1977. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/D79367.htm. Acesso em: 05 jun. 2019.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 4 mai. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Programa Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde. Brasília: Editora do Ministério da Saúde Brasília, 2005. 106p.

BRASIL. Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005. **Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, Seção 1, p. 2-4. 05 maio de 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Comentários sobre a Portaria MS. N.º 518/2004: subsídios para implementação**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 92 p, 2005 (Série E, Legislação em Saúde).

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, 14 de dezembro de 2011.

BRASIL. Ministérios das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)**. Brasília (DF), 2014. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/plansab_texto_editado_para_download.pdf. Acesso em: 7 ago. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da Organização Mundial da Saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do**

Trabalhador. – Brasília: Ministério da Saúde, 2015. 37 p. : il. Disponível em : http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/analise_indicadores_agua_consumo_humano_doencas_hidrica_brasil_2013.pdf. Acesso em : 12 jun. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **PROGRAMA NACIONAL DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO – INDICADORES INSTITUCIONAIS 2014 e 2015.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 56 p. : il. Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2016/novembro/18/Relatorio-situacional---Indicadores-Institucionais--2014-e-2015-.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Anexo XX da Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde** [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2017 out 3; Suplemento: 360-568. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 12 jun. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Indicadores institucionais do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano – 2016** [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília: Ministério da Saúde, 2017. 58p. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/indicadores_institucionais_programa_vigilancia_qualidade_agua_consumo_2016.pdf. Acesso em: 12 ago.2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Indicadores institucionais do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano 2017** [recurso eletrônico] / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador – Brasília: Ministério da Saúde, 2018. 67 p. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/indicadores_programa_nacional_agua_vigiagua2017.pdf. Acesso em: 6 mai. 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** Aplicativo Série Histórica. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 12 out. 2019

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de Saneamento Básico VERSÃO REVISADA-2019.** 07/03/2019. Brasília. 2019. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Ver_saoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf. Acesso em: 7 jun. 2019.

CABRAL, L.S.L.; RODRIGUES, E.C.; FONSECA, A. Privatizar ou não privatizar? Uma análise longitudinal dos serviços de abastecimento de água no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 811-822, 2018.

CONSONERY, P. J.; GREENFIELD, D. N.; LEE, J. J. Pennsylvania's filtration evaluation program. **Journal American Water Works Association**, v. 89, p. 67-77. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1997.tb08277.x>. Acesso em: 7 mai. 2019.

DE ROOS A.J., GURIAN P.L., ROBINSON L.F., RAI A., ZAKERI I., KONDO M.C... Review of epidemiological studies of drinking-water turbidity in relation to acute gastrointestinal illness. **Environmental health perspectives**. v. 125, n.8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/EHP1090>. Acesso em: 7 mai. 2019.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990. 1-367 p.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION OF PENNSYLVANIA STATE (DEP) **Performance Measures of Pennsylvania's Area-Wide Optimization Program Safe Drinking Water Program** 2014. Disponível em: http://files.dep.state.pa.us/Water/BSDW/AboutWaterSupply/PerformanceMeasures/FPE%20Annual%20Progress%20Report%202014_web.pdf. Acesso em: 12 jun. 2019.

FEDINICK, K.P.; WU, M.; PANDITHARATNE, M.; OLSON, E.D. Threats on tap: widespread violations highlight need for investment in water infrastructure and protections. In: **Natural resources defense council**, New York. 2017 Disponível em: <http://ktvk.images.worldnow.com/library/d372ccb7-a023-4177-a362-75f7f05e918b.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Eng. Sanit. Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 7-15, mar. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100002>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FONSECA, A.; GABRIEL, C. F. Análise da influência da tarifação em seis indicadores operacionais e de qualidade dos serviços de abastecimento de água no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 219-224, Jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000129123>. Acesso em: 20 mai. 2019.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE U.S. (GAO). **Drinking Water: Unreliable State Data Limit EPA' s Ability to Target Enforcement Priorities and Communicate Water Systems**. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. GAO-11-381. 2011. Disponível em: <https://www.gao.gov/products/GAO-11-381>. Acesso em: 20 mai. 2019.

GUERRA, L. V.; SILVA, B. D. Vigilância da qualidade da água para consumo no estado do Rio de Janeiro. **Ambient. soc.**, São Paulo, v. 21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0097r2vu18l3td>. Acesso em: 21 mai. 2019.

HEALTH CANADA. Federal provincial territorial committee on drinking water. **Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Guideline Technical Document: Turbidity**. Ottawa: Health Canada, 2012. 87 p.

HEALTH CANADA. Federal provincial territorial committee on drinking water. **Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Summary Table**. Ottawa: Health Canada, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 2010. 219p.

KIRCHHOFF, C.J.; FLAGG, J.A.; ZHUANG, Y. *et al.* Understanding and Improving Enforcement and Compliance with Drinking Water Standards. **Water Resources Management**. v. 33, p. 1647–1663. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-2189-4>. Acesso em: 06 mai. 2019.

KOSAKA, K.; KOIKE, Y.; MIYABAYASHI, Y.; SAITO, K.; ASAMI, M.; SASAKI, M.; AKIBA, M. National survey of utilization of continuous water quality monitors in water supply systems in Japan. *Water Science and Technology: Water Supply*. v. 19, n. 5, p. 1347–1353. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2019.006>. Acesso em: 11 nov. 2019.

LUSARDI, P. J.; CONSONERY, P. J. Factors affecting filtered water turbidity. **Journal - American Water Works Association**. v. 91, p. 28-40. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1999.tb08748.x>. Acesso em: 5 mai. 2019.

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, n. 30, p. 14024-14033. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1072586>. Acesso em: 01 mai. 2019.

MELO, L. D. V. **Avaliação estatística de desempenho de estações de tratamento de água, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial**. 168 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MELO, L.D.V., *et al.* Adequacy analysis of drinking water treatment technologies in regard to the parameter turbidity, considering the quality of natural waters treated by large-scale WTPs in Brazil. **Environmental monitoring and assessment**. v. 191, n. 384. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7526-9>. Acesso em: 8 jul. 2019.

MINISTRY OF HEALTH. **Drinking-water Standards for New Zealand 2005 (revised 2018)**. Wellington: Ministry of Health. 2018. Disponível em: <https://www.health.govt.nz/system/files/documents/publications/dwsnz-2005-revised-mar2019.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2019.

NAVIDI, W. **Statistics for Engineers and Scientists**. 3rd Ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2010. Apud: SOUZA, G. A. Aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água 126 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

NHMRC, NRMMC. Australian Drinking Water Guidelines Paper 6 National Water Quality Management Strategy. **National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of**

Australia, Canberra. Version 3.5 Updated August 2018. Disponível em: <https://www.nhmrc.gov.au/about-us/publications/australian-drinking-water-guidelines>. Acesso em: 9 jul. 2019.

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.

OLIVEIRA JUNIOR, A. *et al.* Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA): características, evolução e aplicabilidade. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 1-13, 2019.

OLIVEIRA, S. M. A. C. **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.

ONU. **The Human Right to Water and Sanitation Milestones**. UN WATER. 2014. Disponível em: https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_milestones.pdf. Acesso em: 20 ago. 2019.

PAIVA, R.F.P.S.; SOUZA, M.F.P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**. v. 34, n. 1. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00017316>. Acesso em: 11 jul. 2019.

PEREIRA, L. G.; SILVA, G. A.; LIBANIO, M. Proposição de sistema de indicadores de desempenho operacional de estações de tratamento de água à luz do prestador de serviço: aplicação a cinco estações de ciclo completo. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 6, p. 1163-1172, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018168875>. Acesso em: 25 abr. 2019.

PINTO, V.G.; HELLER, L.; BASTOS, R.K.X.. Drinking water standards in South American countries: convergences and divergences. **J Water Health**. v. 10, n.2, p. 295-310. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2012.087>. Acesso em: 10 mai. 2019.

QUEIROZ, A. C. L.; SILVA, S. C. F.; HELLER, L.. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: avaliação da prática do serviço. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. **Anais...** Recife: ABES, p. 1-7. 2009.

RENNER, R. C.; HEGG, B. A.; BENDER, J. H.; BISSONETTE, E. M. Composite Correction Program Optimizes Performance at Water Plants. **Journal - American Water Works Association**, v. 85: p. 67-74. 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1993.tb06010.x>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SCHEILI, A.; RODRIGUEZ, M. J.; SADIQ, R. Impact of human operational factors on drinking water quality in small systems: an exploratory analysis. **Journal of Cleaner**

Production, v. 133, p. 681–690. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.179>. Acesso em: 9 set. 2019.

SOUZA, G. A. **Aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água** 126 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations**. Filtration, disinfection, turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, Legionella, and heterotrophic bacteria; Final rule. Part III. Federal Register, 54 FR 27486, 1989.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems using surface water sources**. Washington, DC: USEPA, 1991. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/guidance_manual_for_compliance_with_the_filtration_and_disinfection_requirements.pdf. Acesso em: 22 mai. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations: disinfectants and disinfection byproducts**; Final rule. Federal Register, v. 63, n. 241, December 16, 1998.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions**. EPA 815 –R 99-010. 1999.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Data reliability analysis of the EPA safe drinking water information system/federal version (SDWIS/FED)** (Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington, DC), EPA 816-R-00-020. 2002.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **National Primary Drinking Water. Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule; Final Rule**. Federal Register – Part II – 40CFR, Parts 9, 141 and 142. 2006. Disponível em: www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2006-01-05/pdf/06-4.pdf. Acesso em: 3 mai. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Primary Drinking-water Regulations**. Washington: USEPA, 2009.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2011 **Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories**. Washington: USEPA, 2011.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **“Providing Safe Drinking Water in America: 2013 National Public Water Systems Compliance Report,”** 2015. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/sdwacom2013.pdf>. Acesso em: 3 mai. 2019.

VIANA, D.B. **Contribuições para a construção de modelos de estimativa de riscos à saúde associados à transmissão de *Giardia* e *Cryptosporidium* via abastecimento de água para consumo humano**. 2011. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2011.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed, including first addendum)**. Geneva: World Health Organization. 2017a Disponível em: www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/. Acesso em: 12 set. 2019.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Water quality and health: **review of turbidity: information for regulators and water suppliers**. Technical brief. Genebra: WHO, (WHO/FWC/WSH/17.01). 2017b, 10 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665>. Acesso em: 9 fev. 2019.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **A global overview of national regulations and standards for drinking water quality**. Geneva: World Health Organization; (Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO). 2018, 104p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272345/9789241513760-eng.pdf?ua=1>. Acesso em: 3 mar. 2019.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Drinking-water; Fact sheet**. 2018. Disponível em: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Acesso em: 21 jan. 2019.

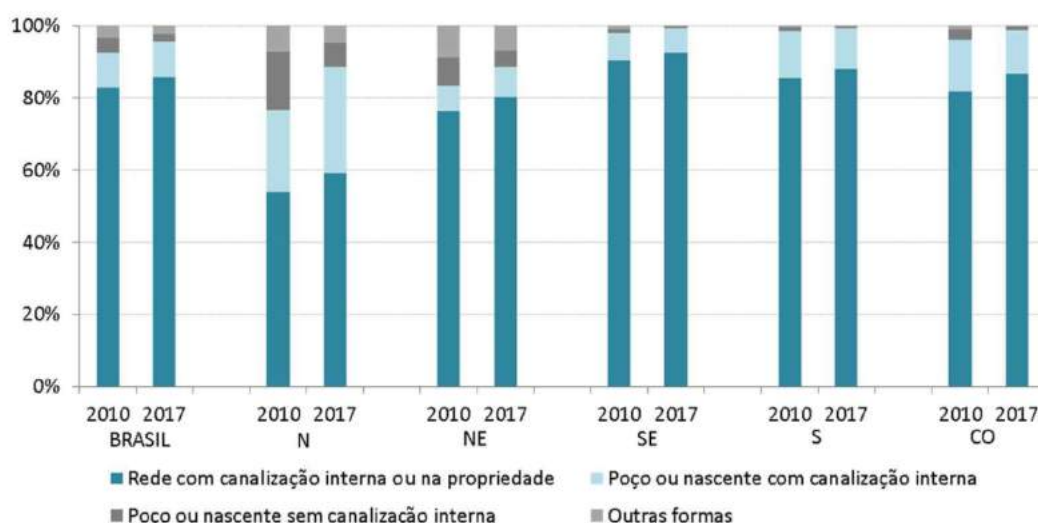
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE ESPACIAL DOS DADOS DO SISAGUA (2014-2017) DE TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO RÁPIDA EM ETAs SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL

3.1 Introdução

A desigualdade de acesso ao abastecimento de água adequado nas diferentes regiões do Brasil é evidenciada em dados do IBGE (IBGE, 2010; IBGE, 2018), que demonstram a permanência dos piores índices de atendimento em domicílios das regiões Norte e Nordeste, em especial em domicílios rurais; a macrorregião Norte apresenta o maior déficit percentual de atendimento (apesar da redução de 23,4% em 2010 para 11,5% em 2017), enquanto em números absolutos o Nordeste ostenta o maior déficit, com 2,1 milhões de domicílios sem atendimento adequado (Figura 3.1).

Na zona urbana, a macrorregião Norte apresenta os maiores percentuais de déficit de atendimento, apesar da redução de 12,4% em 2010 para 4,6% em 2017; o Nordeste responde pelo maior número absoluto de domicílios urbanos com déficit de atendimento: mais de 975 mil domicílios (Figura 3.2). Na zona rural verifica-se que o maior déficit de atendimento encontra-se na macrorregião Nordeste, com 35,9%, correspondente a 1,6 milhão de domicílios (Figura 3.3).

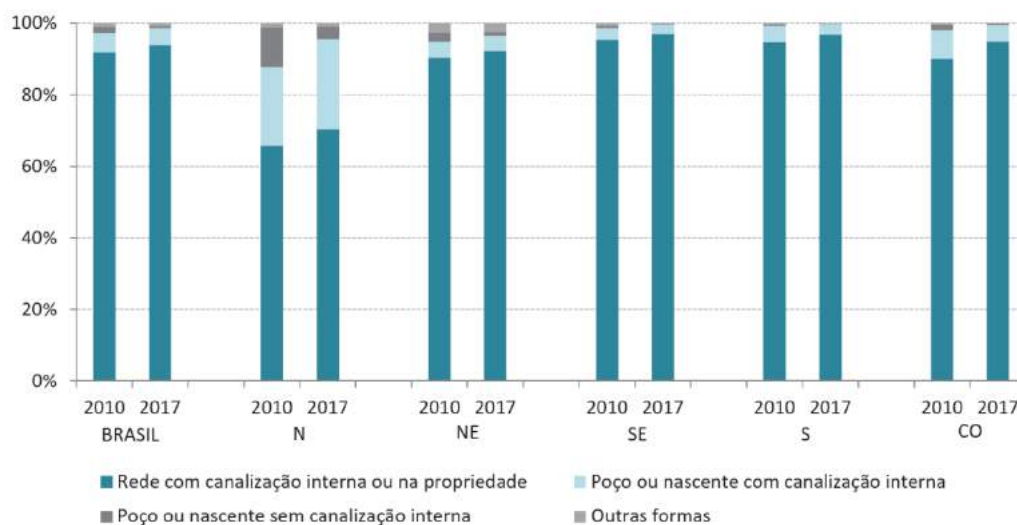
Figura 3.1 – Percentual do total de domicílios atendidos com abastecimento de água por forma de atendimento no País e nas macrorregiões¹, em 2010 e 2017.



Fonte: BRASIL, 2019.

(1) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

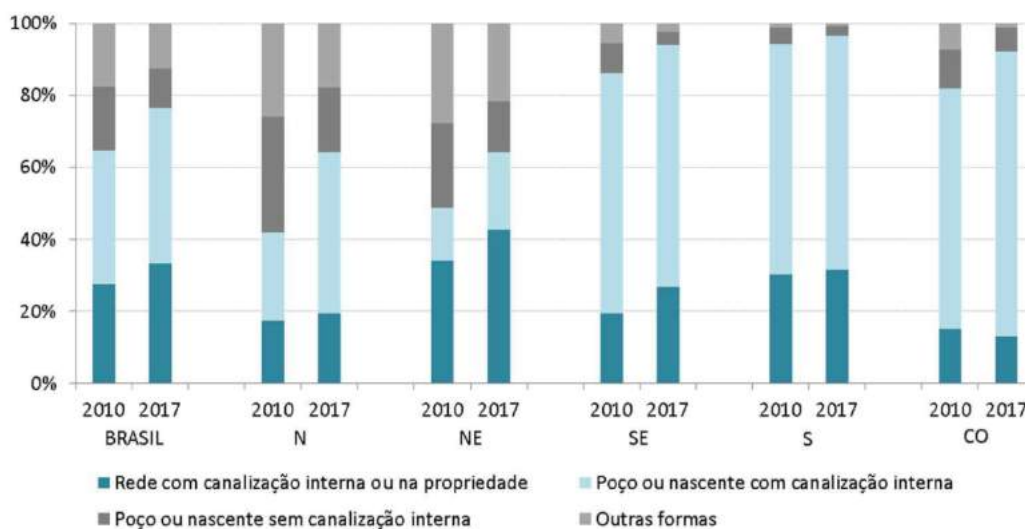
Figura 3.2 – Percentual de domicílios urbanos atendidos com abastecimento de água por forma de atendimento no País e nas macrorregiões¹, em 2010 e 2017.



Fonte: BRASIL, 2019.

(1)- N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

Figura 3.3 – Percentual de domicílios rurais atendidos com abastecimento de água por forma de atendimento no País e nas macrorregiões¹, em 2010 e 2017.



Fonte: BRASIL, 2019.

(1) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

A versão do Plano Nacional de Saneamento Básico revisada em 2019 (BRASIL, 2019) apresenta também dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) quanto à qualidade da água distribuída, expressa em termos de municípios com mais de 1% de amostras positivas para *Escherichia coli*. O maior percentual de municípios com tal

desconformidade foi verificado na macrorregião Nordeste: 14,5% em 2014, e 14,0% em 2017. Cabe destacar também o aumento do percentual na macrorregião Norte de 1,1% em 2014 para 5,5% em 2017; além disso, as regiões Norte e Nordeste foram as únicas que apresentaram aumento no número de municípios com esta desconformidade entre 2014 e 2017 (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Municípios com percentual de amostras com presença de *E. coli* na água distribuída superior a 1,0%, no Brasil e por macrorregião, em 2014 e 2017.

Macrorregiões	2014			2017		
	Nº municípios com dados informados no SISAGUA	Nº municípios com mais de 1,0% das análises com presença de <i>E. coli</i>	% municípios com mais de 1,0% das análises com presença de <i>E. coli</i>	Nº municípios com dados informados no SISAGUA	Nº municípios com mais de 1,0% das análises com presença de <i>E. coli</i>	% municípios com mais de 1,0% das análises com presença de <i>E. coli</i>
N	91	1	1,1%	200	11	5,5%
NE	716	104	14,5%	1.016	142	14,0%
SE	875	54	6,2%	1.422	38	2,7%
S	799	40	5,0%	984	29	2,9%
CO	261	31	11,9%	403	21	5,2%
Brasil	2.742	230	8,4%	4.025	241	6,0%

Fonte: BRASIL, 2019.

(1) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

Landau e Moura (2016) chamam atenção para o fato que estas disparidades de cobertura e qualidade dos serviços de saneamento (incluindo o abastecimento de água) geraram também nas regiões Norte e Nordeste piores índices de agravos à saúde relacionados ao saneamento ambiental.

Na visão de Rezende e Heller (2008), estas desigualdades têm contexto histórico, desde o início do século XVIII, quando ações incipientes de abastecimento de água, tais como instalações de aquedutos, cisternas, poços e chafarizes, foram priorizadas apenas em algumas cidades litorâneas e as ricas cidades de Minas Gerais onde à época se realizava extração de ouro e diamantes. Já no Século XX, houve tentativa de atração de investimentos privados estrangeiros, que se deram principalmente nas maiores capitais estaduais. A partir da década de 1930, e principalmente nas de 1940 e 1950, houve maior investimento público com incentivo à criação de autarquias e serviços municipais, com esforço de interiorizar o saneamento, porém com maior foco para as regiões com algum interesse econômico. Já na década de 1970, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA),

com incentivo à criação das Companhias Estaduais de Saneamento Básico, priorizou a implantação de redes de abastecimento de água em municípios maiores, preferencialmente de regiões de economia mais dinâmica e áreas urbanas mais valorizadas. Estes autores chamam atenção que historicamente no Brasil as ações na área de saneamento estiveram fortemente vinculadas a aspectos econômicos, sem foco na superação de carências sociais, o que excluiu diversos segmentos sociais do acesso aos serviços de saneamento.

Borja (2014) destaca que mesmo no período de 2003 a 2009, quando houve retomada dos investimentos em saneamento no Brasil, tanto os recursos onerosos quanto os não onerosos não dialogaram com o déficit de saneamento do país, com os maiores investimentos permanecendo nas regiões Sudeste e Sul, que já contavam com os maiores índices de atendimento.

Neste trabalho objetiva-se verificar se disparidades regionais, já tão bem documentadas em termos de cobertura de serviços de abastecimento de água e, ainda que menos, no que tange à qualidade microbiológica da água distribuída para consumo, também se refletem na qualidade da água produzida em estações de tratamento de água no Brasil, mais especificamente na turbidez da água filtrada.

3.2 Resultados e Discussão

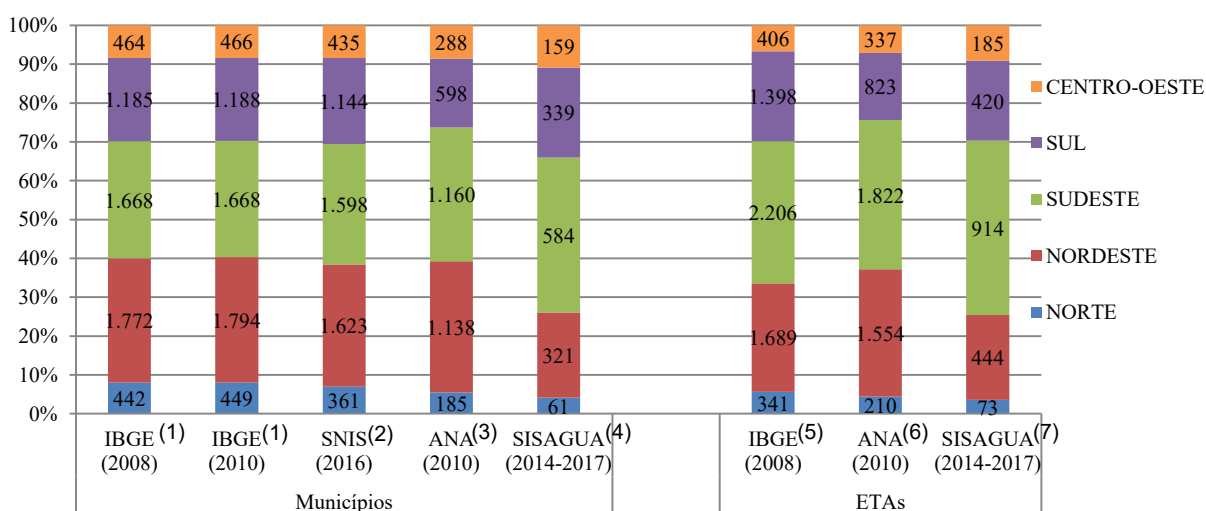
3.2.1 Caracterização dos dados

Após a exclusão de dados inconsistentes, não validados e *outliers* a base de dados ficou composta por 1.464 municípios e 2.036 ETAs de 301 instituições. A distribuição regional destes dados se dá com representatividade proporcional menor das regiões Norte e Nordeste, comparativamente às distribuições do número de municípios do país (IBGE, 2008; IBGE, 2010), do número de municípios com dados no SNIS (2016), do número de municípios com ETAs em geral (IBGE, 2008), e do número de municípios ETAs com captação superficial e mista (ANA, 2010) (Figura 3.4). Em relação ao número de ETAs com captação superficial ou mista levantadas pela pesquisa da ANA (2010), o conjunto de ETAs consideradas no presente estudo representa 29% das ETAs da macrorregião Nordeste, 35% da macrorregião Norte, 50% da macrorregião Sudeste, 51% das localizadas no Sul e 55% do Centro-Oeste.

O número de ETAs com dados de turbidez informados no SISAGUA aumentou em todas as regiões ao longo do período de estudo, chamando atenção o aumento proporcionalmente expressivo na macrorregião Centro-Oeste em 2015, bem como a evolução, ao longo de todo o período, na da macrorregião Sudeste (Figura 3.5).

Na Tabela 3.2 apresenta-se uma caracterização mais detalhada dos dados mensais de P95I do total de ETAs, por macrorregião. A distribuição espacial do conjunto das ETAs analisadas no presente estudo é apresentada na Figura 3.6.

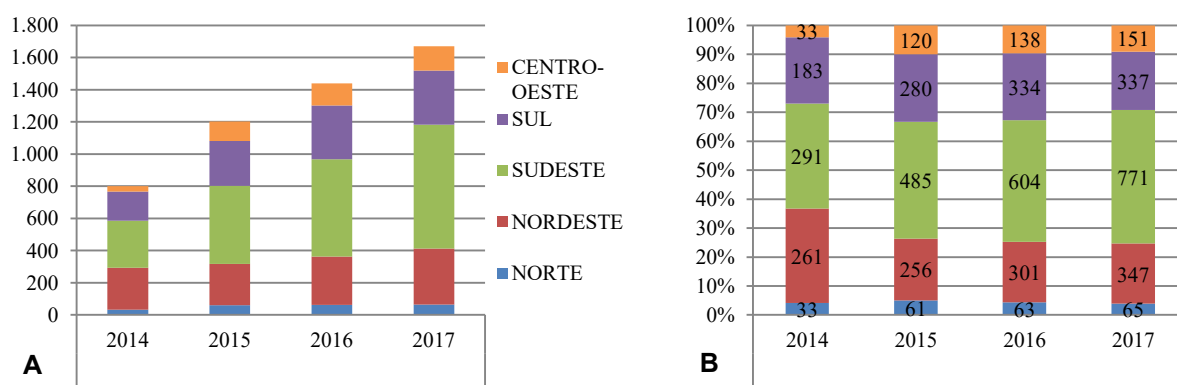
Figura 3.4 – Número e distribuição de frequência de municípios e ETAs por macrorregião do país em diferentes bases de dados.



Fonte: IBGE (2008); IBGE (2010); ANA (2010), SNIS (2016), SISAGUA (2014-2017).

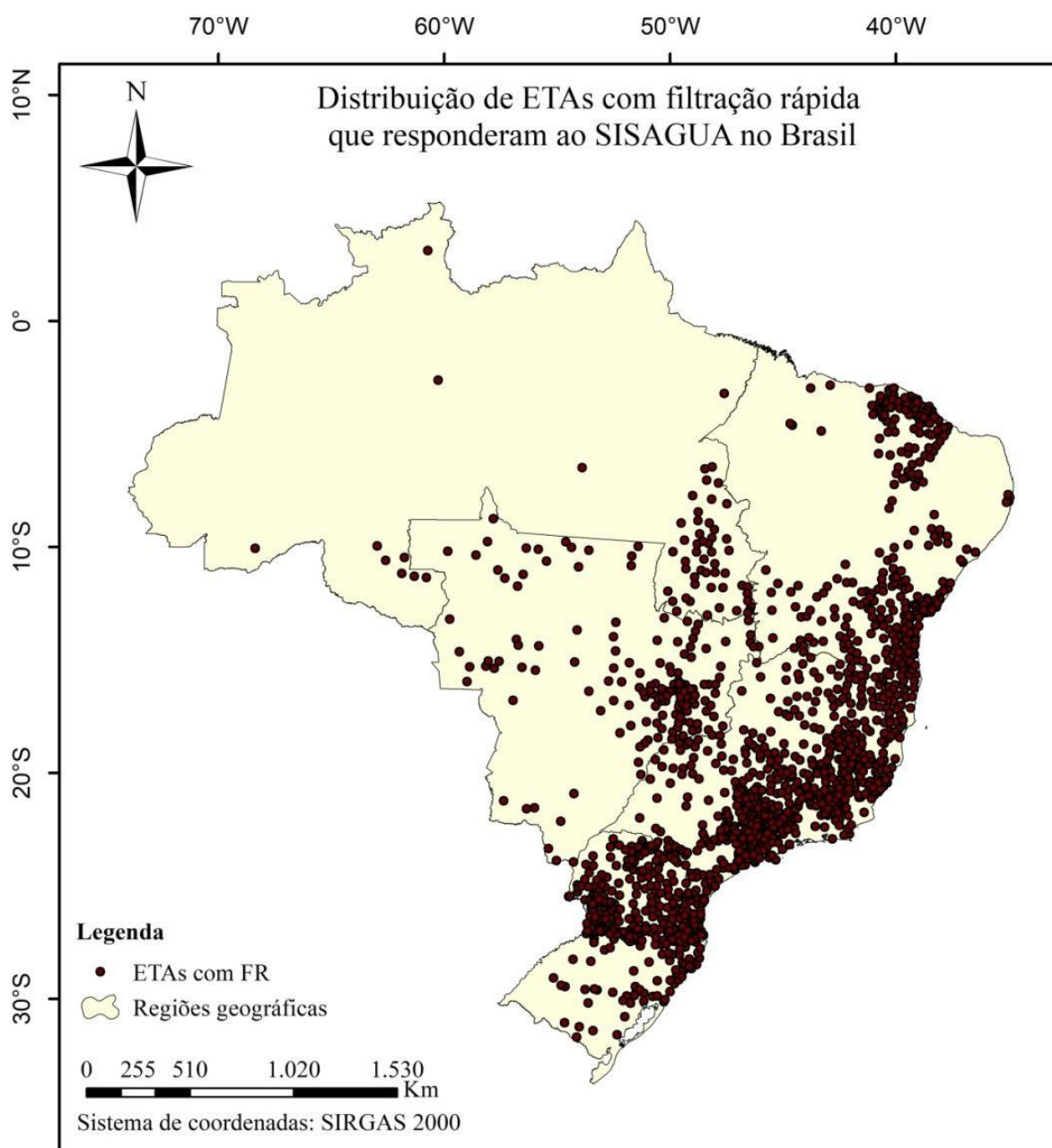
(1) - Municípios brasileiros. (2) - Municípios com captação superficial/mista. (3) - Municípios com abastecimento de água. (4) - Municípios que possuem ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017). (5) – ETAs no Brasil. (6) - ETAs com captação superficial/mista. (7) - ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017).

Figura 3.5 – Número (A) e distribuição de frequência (B), por macrorregião do país, de ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA em 2014, 2015, 2016 e 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Figura 3.6 – Distribuição espacial das ETAs com filtração rápida e captação em manancial superficial com dados de turbidez informados no SISAGUA entre 2014 e 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Tabela 3.2 - Estatística descritiva dos dados mensais de P95l¹ do total de ETAs por macrorregião, dados do SISAGUA, 2014 a 2017.

Macror-região	Nº Total (NT)	Nº informações (Ni)	Nº dados faltantes	% (Ni/NT)	Média	Ep media	Dp	σ	CV	Mín	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	Máx	$Q_{75} - Q_{25}$	Moda	Assimetria	Curto-se
Brasil	97.728	41.358	56.370	42,3%	0,64	0,002	0,4	0,16	63,3	0,01	0,35	0,5	0,9	1,93	0,55	0,5	1,04	0,71
Norte	3.504	2.150	1.354	2,2%	0,42	0,0051	0,24	0,06	56,9	0,02	0,28	0,4	0,49	1,89	0,21	0,5	1,88	7,13
Nordeste	21.312	8.639	12.673	8,8%	0,82	0,0052	0,48	0,23	58,9	0,01	0,45	0,8	1,1	1,93	0,65	1	0,44	-0,56
Sudeste	43.872	17.966	25.906	18,4%	0,59	0,0028	0,37	0,14	62,8	0,01	0,32	0,5	0,81	1,93	0,49	0,5	1,06	1
Sul	20.160	9.087	11.073	9,3%	0,60	0,0039	0,37	0,14	62,1	0,02	0,36	0,48	0,74	1,93	0,38	0,5	1,47	1,92
Centro-Oeste	8.880	3.516	5.364	3,6%	0,69	0,0062	0,37	0,13	53,3	0,02	0,41	0,63	0,94	1,92	0,53	0,5	0,79	0,64

Ep: erro padrão; Dp : desvio padrão; σ : variância; CV: coeficiente de variação; Q₂₅: 1º quartil; Q₅₀: mediana; Q₇₅: 3º quartil;

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

3.2.2 Comparação do desempenho das ETAs por macrorregião

O agrupamento das informações revelou diferenças entre as informações prestadas pelas ETAs das diferentes macrorregiões do país.

A macrorregião Norte foi a que contou com o menor número de ETAs com dados avaliados (73), as quais, e conjunto, apresentaram: (i) maior índice percentual de informação (61,4%) (Figura 3.3); (ii) maior percentual de atendimento ao padrão de 0,5 uT - mais de 80%, principalmente a partir de 2015 (Figura 3.8 e Figura 3.10); (iii) menor percentual de ETAs com P95I acima de 1,0uT (Figura 3.8 e Figura 3.10); (iv) menor heterogeneidade entre os dados mensais de turbidez (P95I) das ETAs (Figura 3.9); (v) maiores percentuais de atendimento ao padrão de turbidez em um número maior de meses, anualmente (Figura 3.11); e (vi) maior percentual de ETAs classificadas no grupo de “melhores” ETAs e nenhuma no grupo das “piores” (Tabela 3.3).

Por sua vez, as ETAs da macrorregião Nordeste apresentaram: (i) baixo índice de atendimento ao padrão de 0,5 uT - 32,2%; (ii) elevados índices de dados mensais de P95I acima de 1,0 uT (Figura 3.8); (iii) elevada heterogeneidade de dados (Figura 3.9); (iv) índices mensais de atendimento ao padrão 0,5 uT baixos por todo período, abaixo de 40% das ETAs, ainda que com leve evolução ao longo do período avaliado (Figura 3.10); e (v) maior percentual de ETAs classificadas no grupo de “piores” ETAs e o menor dentre as “melhores” (Tabela 3.3).

Em que pesem as diferenças metodológicas e a abordagem descritiva univariada da presente análise, cabe citar que em estudos anteriores as macrorregiões Norte e Nordeste apresentaram baixo desempenho em relação a cobertura de rede de água e de esgotos (REZENDE *et al.*, 2007), de recursos investidos em ações de saneamento (BORJA, 2014); do índice de abastecimento por rede geral de água (LANDAU e MOURA, 2016) e ao déficit absoluto de acesso ao abastecimento de água adequado (BRASIL, 2019).

O desempenho das ETAs da macrorregião Centro-Oeste se mostrou um pouco melhor do que o da macrorregião Nordeste, porém ainda abaixo das demais macrorregiões. O percentual de ETAs que atenderam ao padrão na macrorregião Centro-Oeste apresentou grande oscilação e baixos índices de atendimento em 2014. A partir de 2015, as ETAs daquela macrorregião

apresentaram melhores índices de atendimento, que chegaram a 50%, mas ainda com grande oscilação mensal (Figura 3.10). Os dados mensais de turbidez (P95I) apresentaram grande heterogeneidade (Figura 3.9) e o percentual de ETAs que atenderam ao padrão 0,5 uT em poucos meses nos anos avaliados foi elevado (Figura 3.11). O percentual de ETAs classificadas no grupo das “melhores” ETAs (4,9%) é mais baixo que o percentual geral (9,2%), enquanto o percentual de ETAs no grupo das “piores” (11,4%) é um pouco acima do percentual geral (10,4%) (Tabela 3.3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Já as regiões Sul e Sudeste são as que apresentaram o desempenho mais semelhante entre regiões, sem diferença estatisticamente significativa pelo teste de Mood entre os valores das médias de turbidez (P95I) e de percentual de atendimento ao padrão 0,5 uT (Tabela 3.5 e Figura 3.12). Porém, houve diferença significativa entre o percentual de informação das duas regiões: com 41% das ETAs do Sudeste e 45,1% na macrorregião Sul.

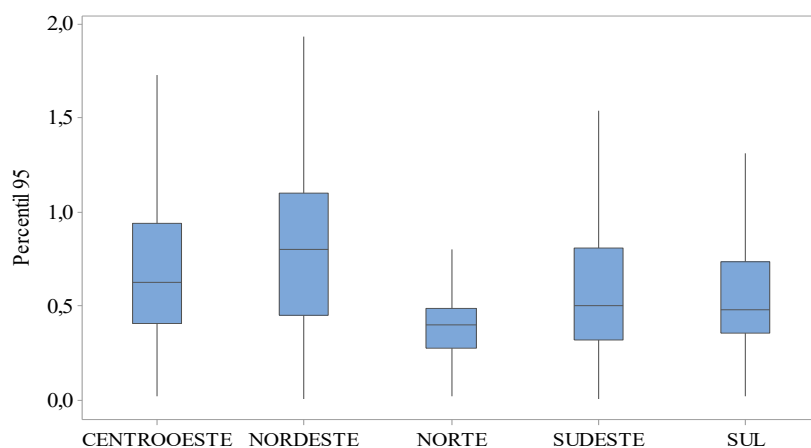
Contudo, ainda que não tenha sido identificada diferença significativa entre as médias do percentual de atendimento ao padrão de 0,5 uT, a variação mensal desses percentuais indica melhora no atendimento pelas ETAs da macrorregião Sul no período de estudo, enquanto na macrorregião Sudeste não (Figura 3.8 e Figura 3.10). As ETAs da macrorregião Sul também apresentaram diminuição na variação dos dados de turbidez ao longo dos anos avaliados (Figura 3.9) e um percentual maior de ETAs classificadas entre as “melhores” ETAs. Por outro lado, a macrorregião Sudeste apresentou o segundo menor percentual de ETAs classificadas no grupo “piores”, atrás apenas da macrorregião Norte (Tabela 3.3).

O teste de tendência de Cox-Stuart confirma tendência de aumento do percentual de ETAs com dados de turbidez (P95I) informados ao longo do período avaliado em todas as macrorregiões do país (Tabela 3.4). Já o mesmo teste, agora avaliando a tendência temporal do percentual de ETAs que atenderam a diferentes padrões de turbidez (Tabela 3.6) demonstra que não há evidências suficientes para dizer que houve melhora no percentual de ETAs da macrorregião Norte com atendimento aos padrões de turbidez ao longo do tempo. O mesmo pode ser lido para os percentuais de ETAs da macrorregião Sudeste para P95I $>1,0$ uT e da macrorregião Sul para P95I $\leq 0,3$ uT e $>1,0$ uT.

Para os demais casos, é possível dizer que houve aumento significativo no percentual de ETAs que atenderam aos padrões de $P95I \leq 0,3$ uT e $\leq 0,5$ uT e redução significativa no percentual de ETAs com $P95I > 1,0$ uT.

Enfim, os resultados do presente estudo apresentam diferenças em relação a outros estudos de análise regional (REZENDE *et al.*, 2007; REZENDE e HELLER, 2008; BORJA, 2014; LANDAU e MOURA, 2016; BRASIL, 2019), que, em geral, relatam as regiões Sul e Sudeste como as de maior cobertura e melhor desempenho. Cabem, entretanto, algumas ponderações no sentido de relativizar os resultados, tais como: (i) a análise de diferentes variáveis; (ii) o baixo índice de envio de informações; (iii) a utilização de análise univariada que desconsidera diversos outros fatores que podem influenciar a turbidez da água; (iv) as diferenças metodológicas existentes entre os diferentes estudos; e (v) o curto período de tempo analisado.

Figura 3.7 – Representação gráfica¹ da estatística descritiva dos valores do P95I² por macrorregião do país, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - Primeiro e terceiros quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos *box-plot*); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais). (2) - 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informado no SISAGUA.

Tabela 3.3 - Número de ETAs, municípios e instituições com dados informados no SISAGUA (2014-2017), percentuais de informação e de atendimento ao padrão de turbidez no período, e percentual de ETAs classificadas como melhores e piores ETAs, dados por macrorregião¹ do país.

Unidade	Macrorregião					Brasil
	N	NE	SE	S	CO	
Nº ETAs						
ETAs	73	444	914	420	185	2.036
Municípios	61	321	584	339	159	1.464
Instituições	10	28	159	54	50	301
%						
Informação	61,4%	40,5%	41,0%	45,1%	39,6%	42,3%
Atendimento	81,9%	32,2%	56,0%	59,0%	40,6%	51,7%
Nº ETAs (%)						
Melhores	14 (19,2%)	7 (1,6%)	100 (10,9%)	58 (13,8%)	9 (4,9%)	188 (9,2%)
Piores	0 (0%)	89 (20%)	63 (6,9%)	39 (9,3%)	21 (11,4%)	212 (10,4%)

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

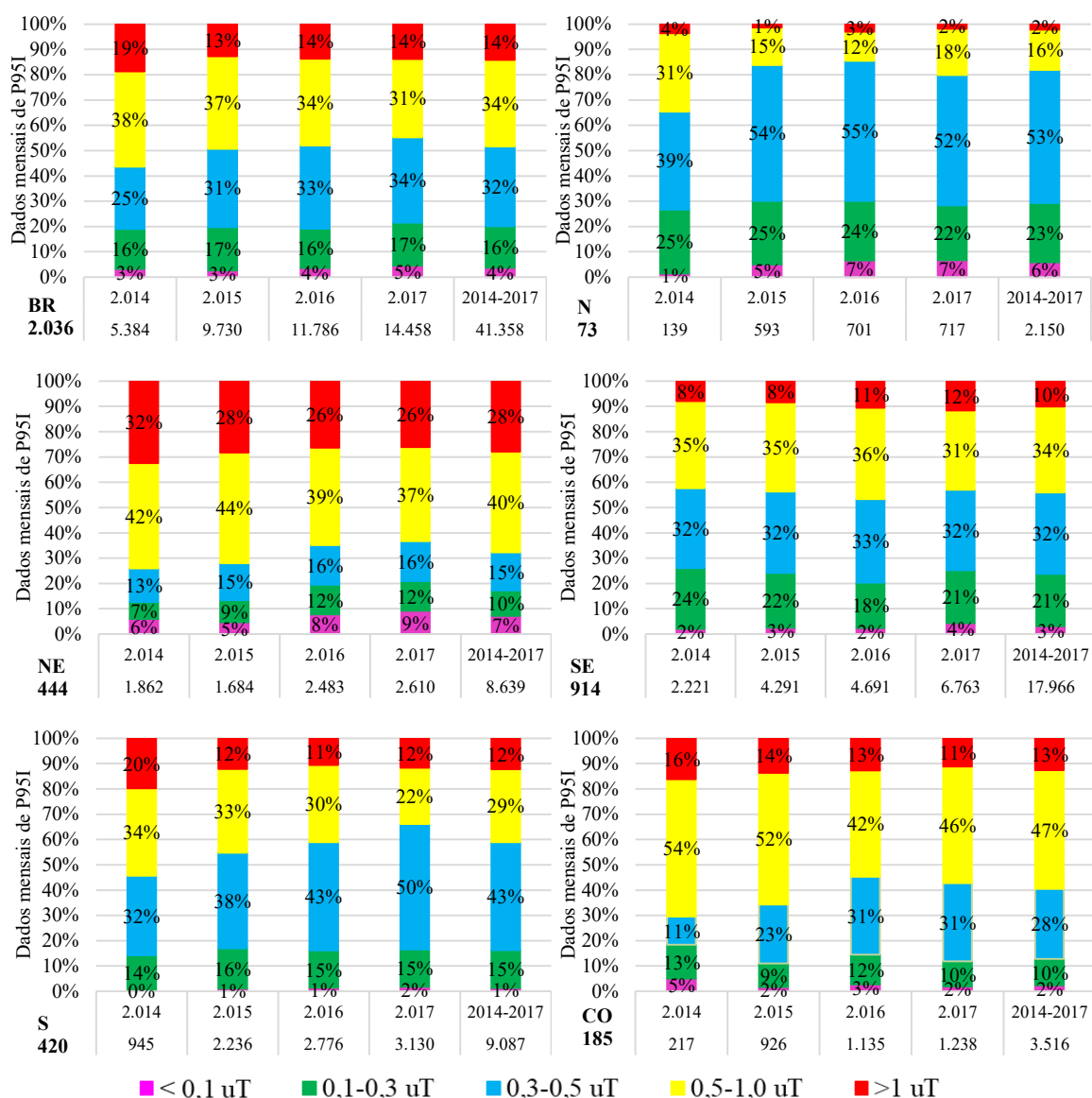
Tabela 3.4 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs por macrorregião do país que tiveram dados de turbidez (P95I¹) informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Macrorregião	Percentual de ETAs			P
	jan.2014	Média do período	dez.2017	
Norte	5,5%	61,4%	82,2%	<0,0001
Nordeste	29,7%	40,5%	48,6%	<0,0001
Sudeste	19,0%	41,0%	52,5%	<0,0001
Sul	11,2%	45,1%	59,5%	<0,0001
Centro-Oeste	5,4%	39,6%	45,9%	<0,0001

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

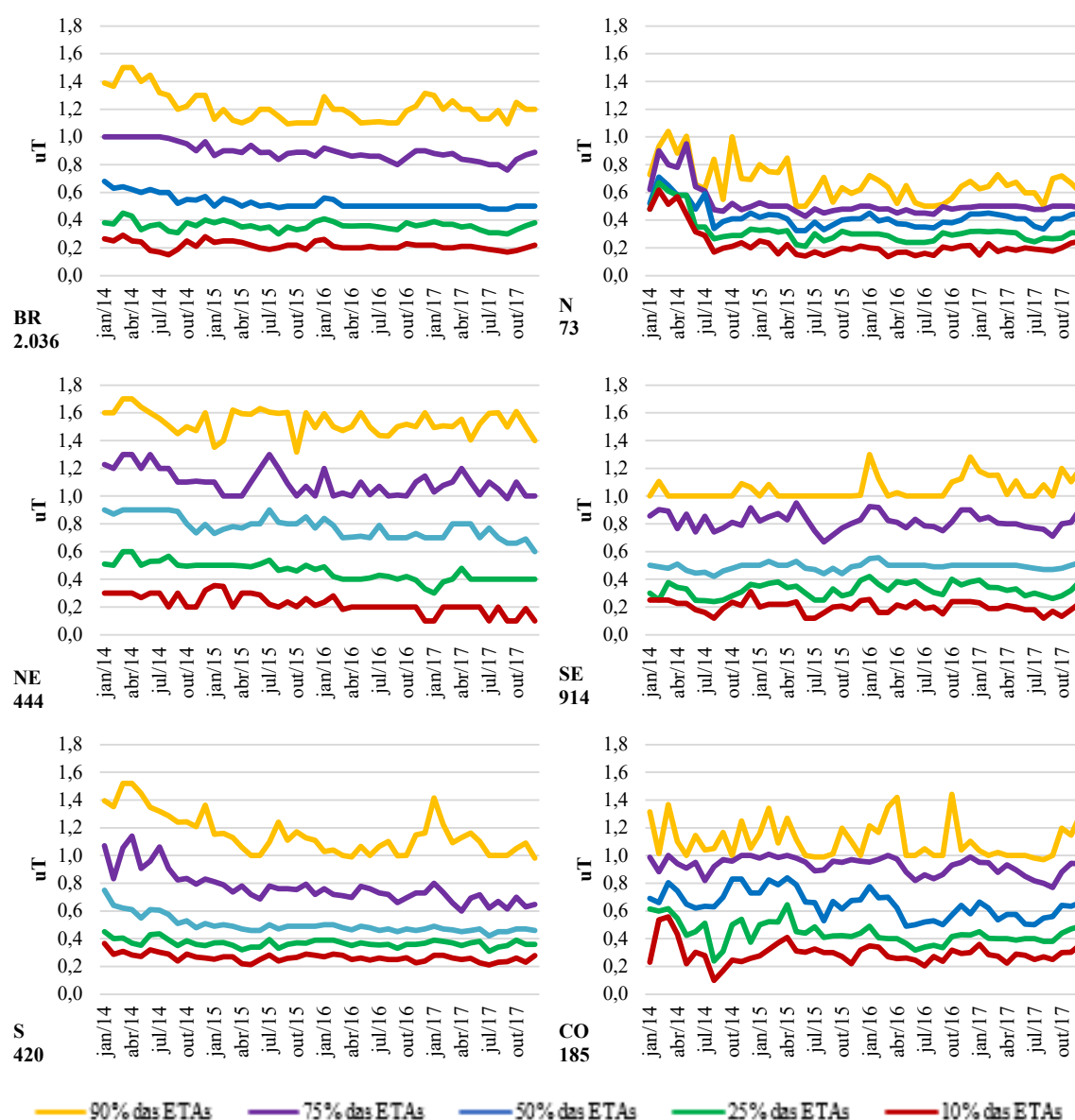
Figura 3.8 – Distribuições de frequência por faixa de turbidez dos valores do P95I¹ em 2014, 2015, 2016 e 2017, para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², com indicação do número de ETAs em cada macrorregião e do número de dados informados a cada ano/período.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

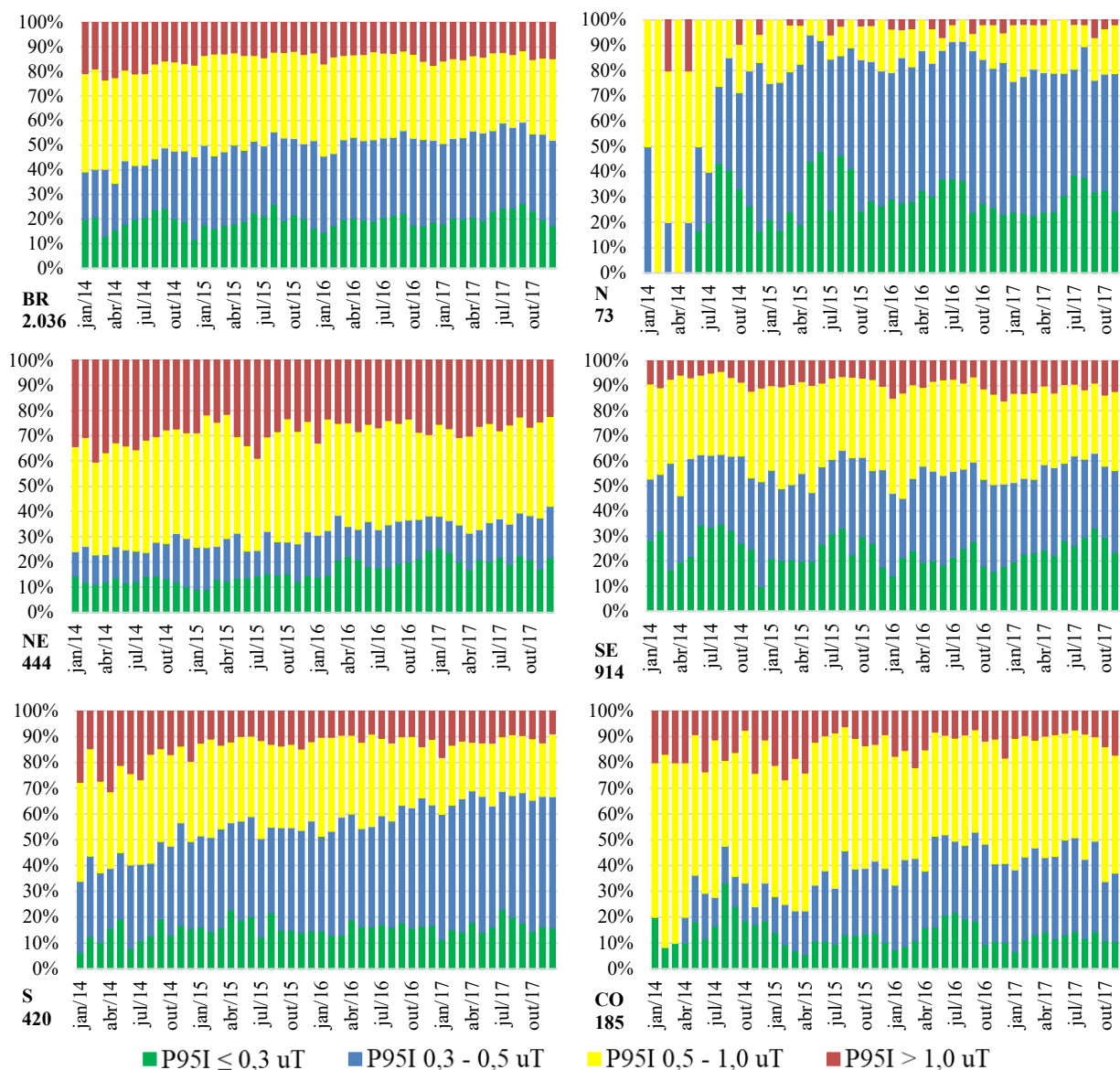
Figura 3.9 – Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores do P95I¹ de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², com indicação do número de ETAs em cada macrorregião.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

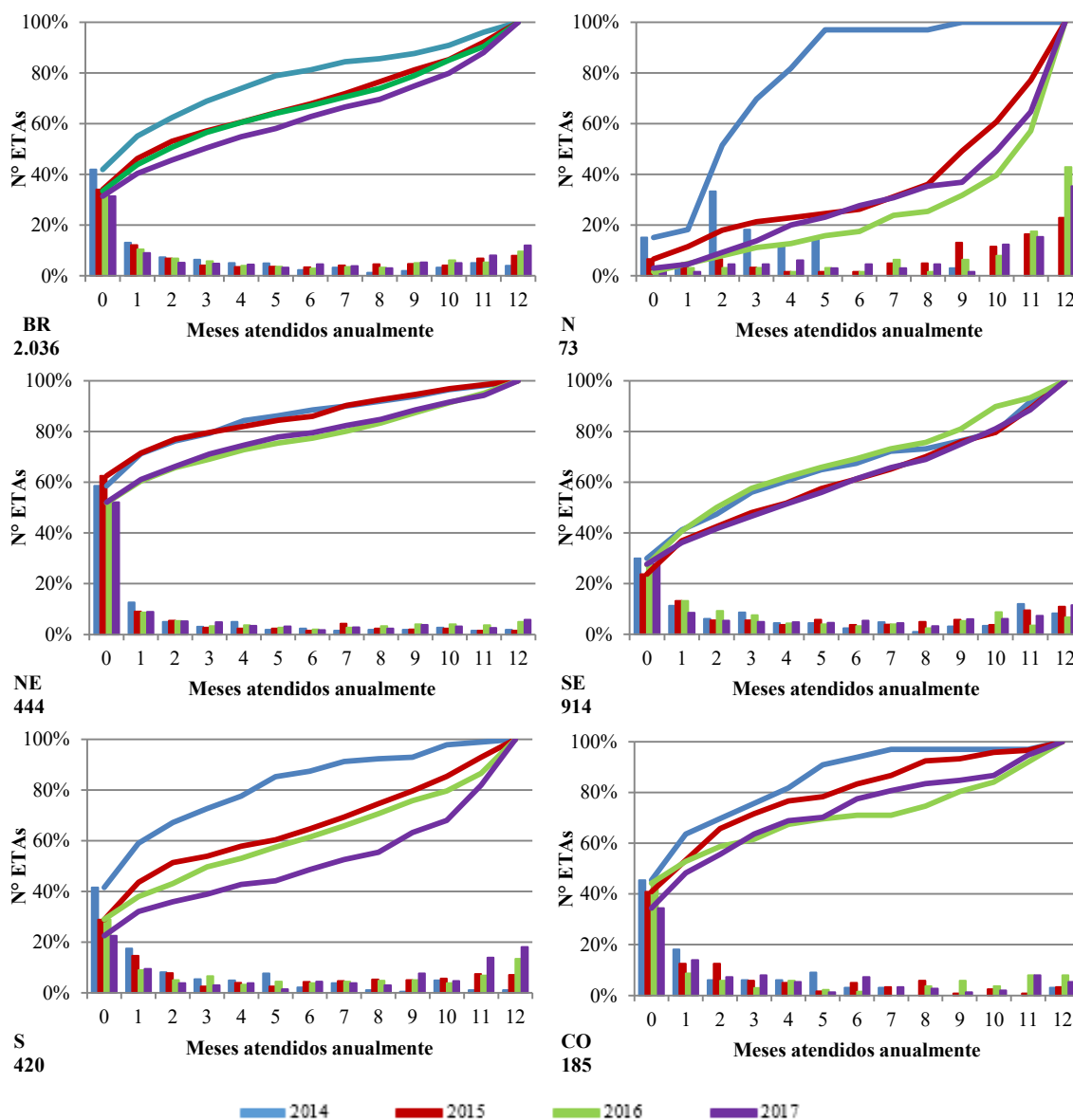
Figura 3.10 – Percentual de ETAs com P95I¹ abaixo dos limites de 0,3; 0,5; 1,0; acima de 1,0 uT, para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, com indicação do número de ETAs em cada macrorregião.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

Figura 3.11 –Distribuição de frequência e frequência acumulada de ETAs que atenderam por determinado número de meses o padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira (P95¹ ≤ 0,5 uT), dados do SISAGUA relativos aos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 para todo o Brasil (BR) e macrorregiões², com indicação do número de ETAs em cada macrorregião.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - N – Norte; NE – Nordeste; SE – Sudeste; S- Sul e CO – Centro Oeste.

Tabela 3.5 - Resultados do teste de medianas de Mood do percentual de ETAs com valores de P95I¹ informados no SISAGUA (% informação), médias dos valores do P95I (Média P95I), e percentual de ETAs que atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (%atendimento), janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por macrorregião.

Macrorregião	% Informação			Média P95I			% atendimento		
	Mediana	IC (95%)		Mediana	IC (95%)		Mediana	IC (95%)	
		Li	Ls		Li	Ls		Li	Ls
Norte	71%	69%	75%	0,43	0,39	0,47	87%	78%	95%
Nordeste	38%	33%	42%	0,9	0,85	0,93	6%	3%	11%
Sudeste	31%	29%	35%	0,55	0,52	0,59	56%	50%	63%
Sul	46%	40%	50%	0,54	0,51	0,58	58%	50%	67%
Centro-Oeste	38%	25%	48%	0,69	0,62	0,74	27%	14%	39%
p	< 0,001			< 0,001			< 0,001		

IC (95%) – intervalo de confiança de 95%, Li - limite inferior; Ls – limite superior

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Tabela 3.6 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por macrorregião.

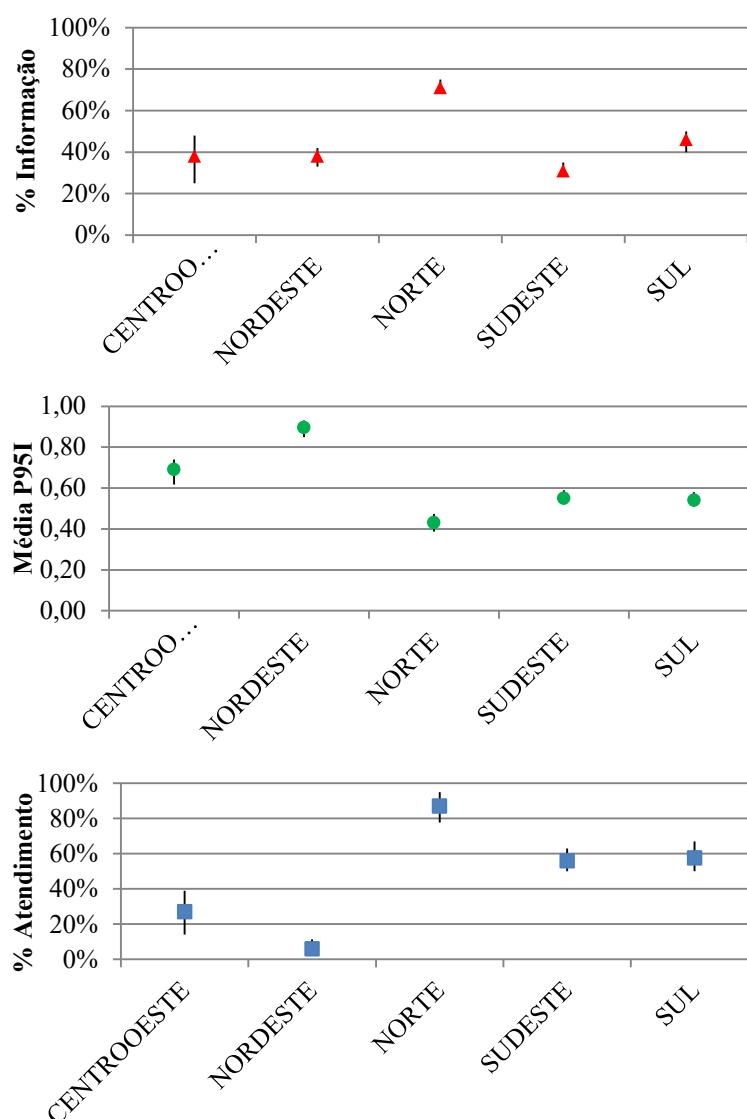
Macrorregião	P95I ¹	Percentual de ETAs			p
		jan.2014	Média do período	dez.2017	
Norte	≤0,3	21,5%	42,9%	38,2%	0,7294
	≤0,5	91,1%	91,8%	90,2%	0,8463
	>1,0	0,2%	0,9%	1,1%	0,9999
Nordeste	≤0,3	40,9%	42,2%	53,2%	<0,0001***
	≤0,5	60,8%	65,0%	73,6%	<0,0001***
	>1,0	8,0%	7,7%	5,9%	0,0008*
Sudeste	≤0,3	43,4%	48,3%	51,5%	0,0033*
	≤0,5	70,7%	78,5%	78,8%	<0,0001***
	>1,0	3,2%	2,7%	4,5%	0,8463
Sul	≤0,3	46,0%	57,9%	58,7%	0,2706
	≤0,5	74,0%	85,4%	88,9%	0,0001*
	>1,0	4,2%	2,5%	2,0%	0,1537
Centro-Oeste	≤0,3	32,7%	44,4%	43,6%	0,0008*
	≤0,5	58,7%	74,1%	80,3%	<0,0001***
	>1,0	7,7%	3,3%	2,5%	0,0113*

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

* 0,01 ≤ p < 0,05; *** p < 0,0001

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 3.12 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% das seguintes variáveis, por macrorregião: percentuais de informações prestadas pelas ETAs, percentuais de atendimento do padrão de turbidez da água filtrada de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais, médias dos valores do P95I1, dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

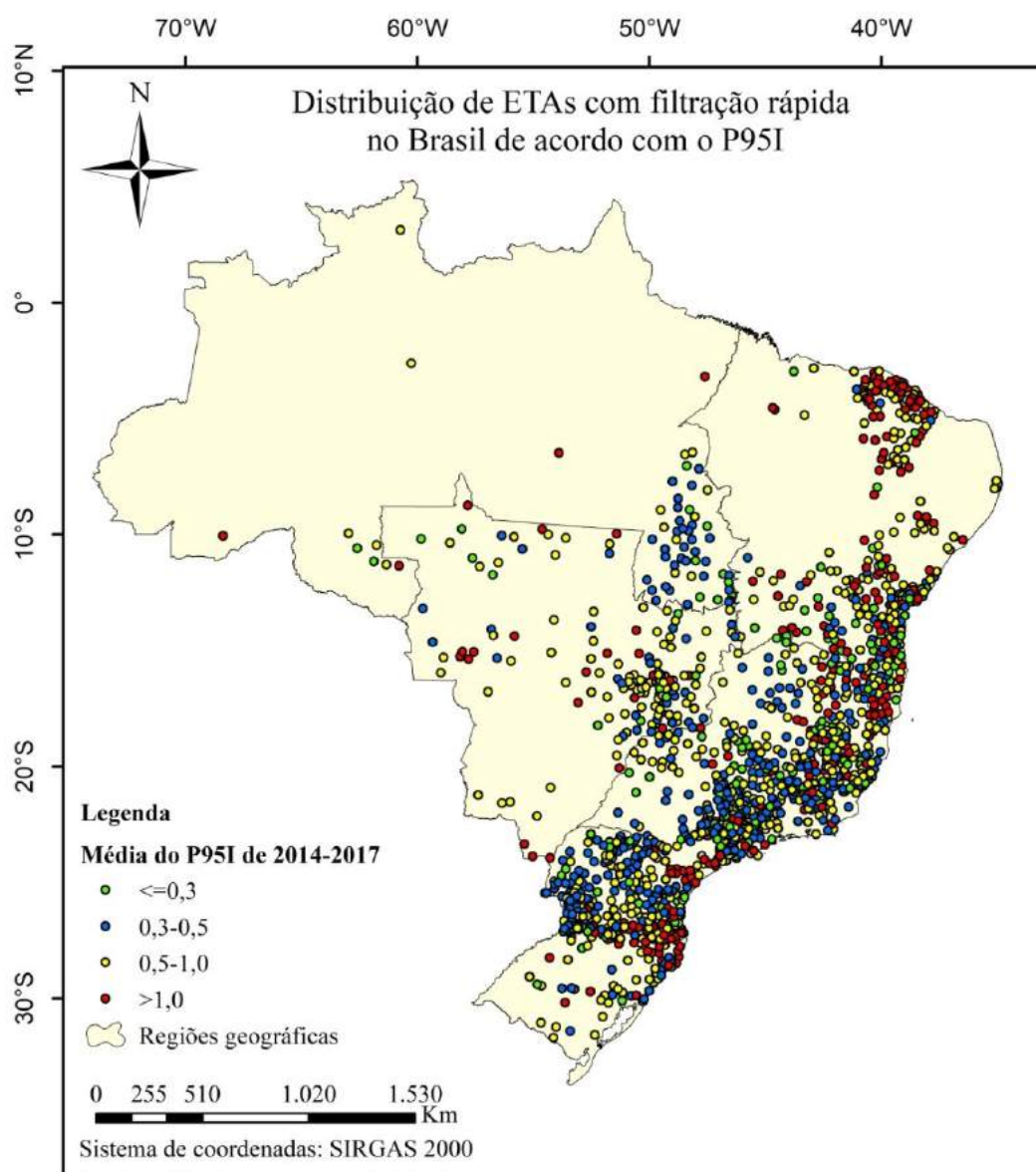
(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

3.2.3 Avaliação espacial do desempenho das ETAs

Os resultados revelaram grande heterogeneidade entre as ETAs de uma mesma macrorregião, com médias de valores de P95I variando desde menos que 0,3 uT a mais que 1,0 uT, em todas as regiões (Figura 3.13). Além disso, notam-se sobreposições geográficas entre ETAs que apresentaram a

média de valores de P95I de acordo, ou não com o padrão de 0,5 uT (Figura 3.14), bem como de ETAs classificadas nos grupos “melhores” e “piores” ETAs (Figura 3.15).

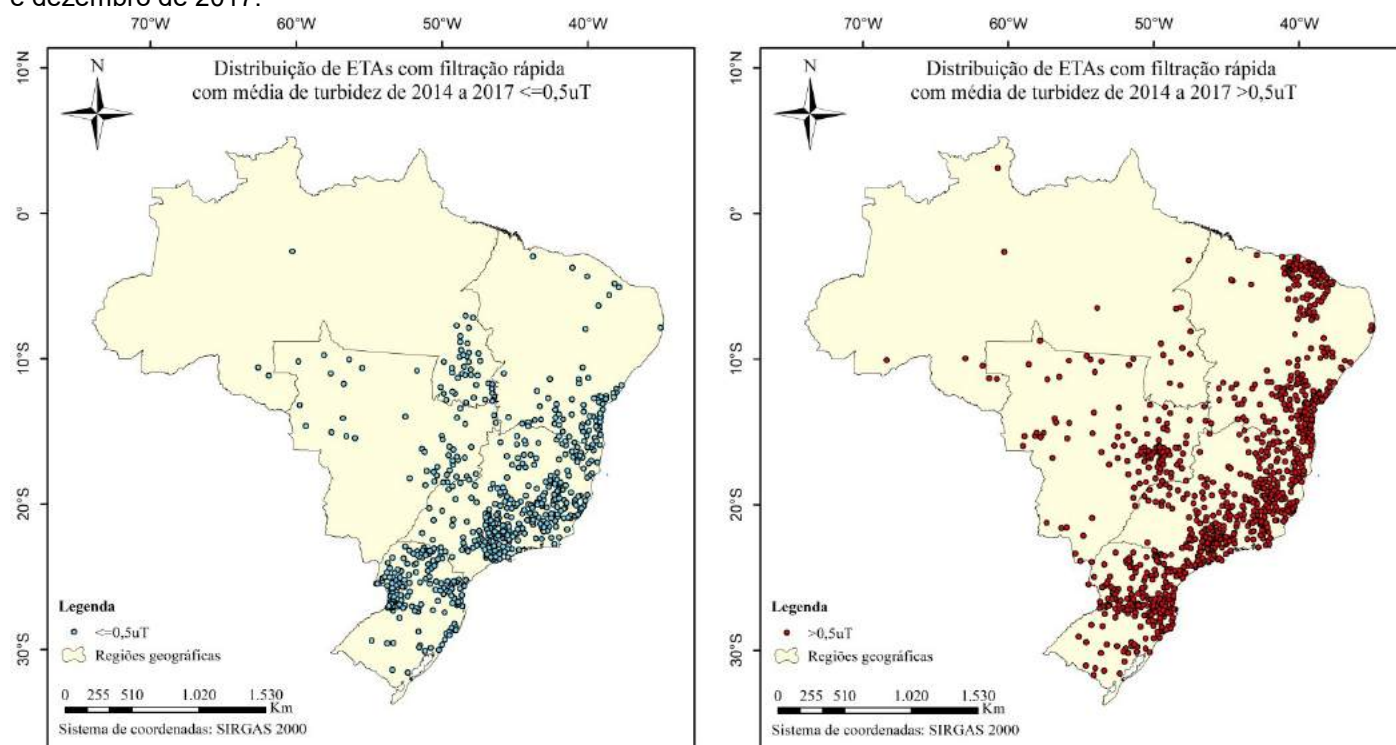
Figura 3.13 – Distribuição espacial das ETAs com captação em manancial superficial e filtração rápida, classificadas por faixas de valores médios do P95I¹ informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

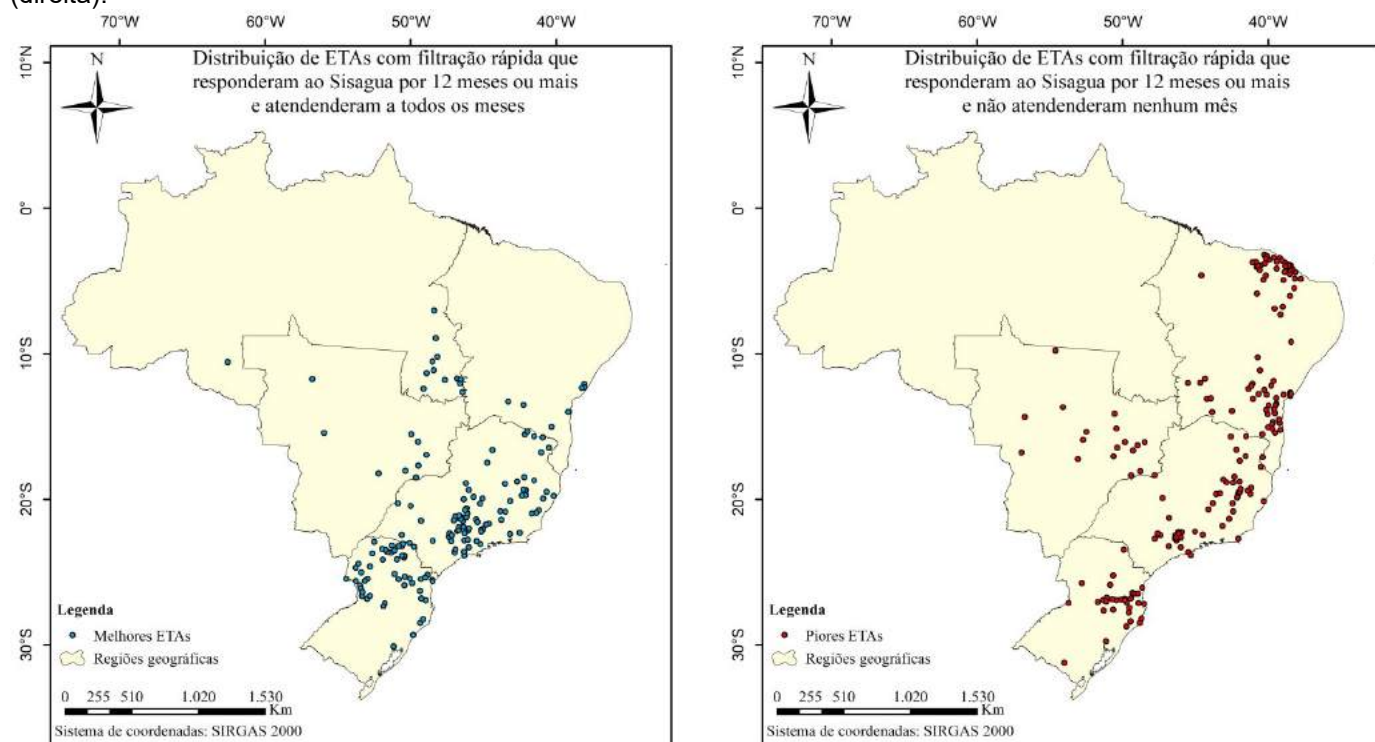
Figura 3.14 – Distribuição espacial das ETAs com captação em manancial superficial e filtração rápida, segundo o atendimento dos valores médios do P95¹ ao padrão de 0,5 uT, dados informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 3.15 – Distribuição espacial das ETAs com captação em manancial superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA entre 2014 e 2017, classificadas nos grupos de “melhores” (esquerda) e “piores” ETAs (direita).



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

As análises espaciais dos dados individualizados por ETA evidenciaram que os valores de turbidez da água filtrada são influenciados por sua localização.

Os resultados do teste estatístico do índice I Global de Moran demonstraram os valores das médias de turbidez das ETAs (P95I) não são distribuídos aleatoriamente ($p < 0,0001$), evidenciaram também que há autocorrelação espacial, com tendência de agregação de ETAs com valores próximos de turbidez (valor de $Z > 0$), ou seja, com tendência de ETAs de desempenho semelhante estarem localizadas próximas umas às outras. A diminuição do valor Z ao longo dos anos demonstra que essa tendência à agregação diminuiu sua força ao longo dos anos analisados, porém permaneceu significativa (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 - Resultados do teste estatístico de autocorrelação do índice I Global de Moran para as médias dos valores do P95I¹, dados do SISAGUA, 2014 a 2017.

Período	Índice de Moran	Índice Esperado	Variância	Valor Z	p
2014-2017	0,4731	-0,000491	0,000682	18,13	<0,0001
2014	0,5878	-0,000491	0,000682	22,53	<0,0001
2015	0,4539	-0,000491	0,000682	17,40	<0,0001
2016	0,3822	-0,000491	0,000682	14,65	<0,0001
2017	0,3519	-0,000491	0,000682	13,49	<0,0001

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Por sua vez, o teste do índice I Anselin Local de Moran identificou aglomerados de altos (*Cluster High*) e baixos (*Cluster Low*) valores de turbidez, além de aglomerados discrepantes de altos valores de turbidez cercados por baixos valores (*High Outlier*), bem como o inverso - baixos valores de turbidez cercado por altos valores (*Low Outlier*) (Figura 3.16).

Implicações práticas dessa análise podem contemplar: (i) identificação de áreas prioritárias para ações dos órgãos responsáveis pela fiscalização/assistência técnica nos aglomerados de altos valores de turbidez (*Cluster High*); (ii) identificação de regiões referência de boas práticas nos aglomerados de baixos valores (*Cluster Low*); (iii) identificação de focos preferenciais para ações regionalizadas de troca de experiências nos pontos de altos valores cercados por baixos valores (*High Outlier*); (iv) identificação de

pontos de referência regionais de boas práticas nas áreas de baixos valores cercados por altos valores (*Low Outlier*).

Na análise com a média dos valores de turbidez (P95I) de todo o período analisado (2014 a 2017), os aglomerados de altos valores (*Cluster High*) aparecem em grande número no Nordeste, em especial nos estados do Ceará e da Bahia, no Sudeste, nos estados de Minas Gerais e São Paulo, e no Sul, no estado de Santa Catarina. Aglomerados de baixos valores de turbidez (*Cluster Low*) são mais numerosos e aparecem em grande número no estado do Paraná, macrorregião Sul, em todos os estados da macrorregião Sudeste, em grande número nos estados de Goiás, macrorregião Centro-Oeste; Tocantins, macrorregião Norte, e em menor número no estado de Mato Grosso, macrorregião Centro-Oeste.

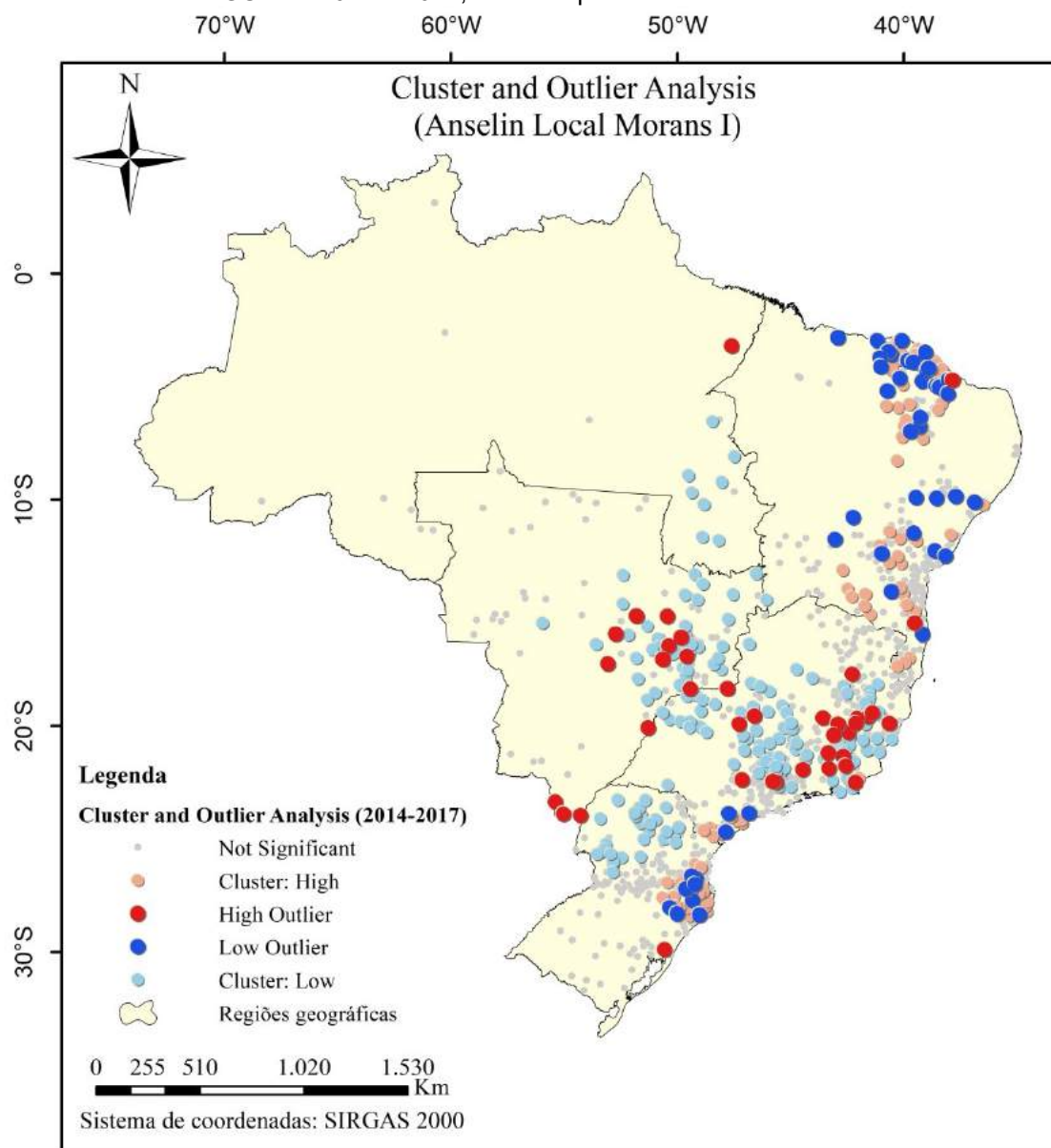
Os pontos de elevada turbidez cercados por baixos valores (*High Outlier*) aparecem em maior número nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Já os pontos com baixos valores cercados por altos (*Low Outlier*) se mostraram mais frequentes no Nordeste, principalmente nos estados da Bahia e do Ceará, no estado de São Paulo, macrorregião Sudeste e no estado de Santa Catarina, macrorregião Sul (Figura 3.16).

Já a análise anual permite verificar a evolução temporal da ocorrência destes aglomerados (Figura 3.17). Chama atenção o alto número de aglomerados de baixos valores de turbidez (*Cluster Low*) em 2014 que não permanecem nos anos seguintes, principalmente nos estados de Goiás e São Paulo; inclusive, em São Paulo estes aglomerados de baixos valores passam em 2017 a aglomerados de altos valores de turbidez (*Cluster High*). Já no estado da Bahia nota-se diminuição dos aglomerados de altos valores ao longo dos anos. Ainda no Nordeste, no estado do Ceará, verifica-se que os aglomerados de altos valores, bem como de valores baixos cercados por altos, permanecem ao longo do período de estudo. Na macrorregião Sul, os estados do Paraná e Santa Catarina dão sinais de melhora no desempenho geral de suas ETAs, com diminuição de aglomerados de altos valores cercados de baixos (*High Outlier*) no Paraná, e o surgimento de aglomerados de baixos valores cercados de altos (*Low Outlier*) em Santa Catarina, onde antes só havia aglomerados de altos valores (*High Outlier*).

Por fim, a análise de *Hot Spots* pela estatística local Getis – OrdGi* identificou um número menor de aglomerados significativos, com maior quantidade de focos de altos valores (*Hot Spots*) em relação aos de baixo valores de turbidez (*Cold Spots*). Em sua maioria, estes aglomerados se encontram em locais que também apareceram na análise de autocorrelação local, como nos estados do Ceará e Bahia na macrorregião Nordeste, Minas Gerais e São Paulo na macrorregião Sudeste e Santa Catarina na macrorregião Sul (Figura 3.18). Na análise anual, é nítido o aumento do número de focos de baixa turbidez (*Cold Spots*) ao longo dos anos avaliados (Figura 3.19).

A dependência espacial verificada levanta questões sobre uma gama de possíveis fatores regionais influentes na turbidez da água filtrada, mas que não foram avaliados no presente estudo, tais como: a atuação de fiscalização (vigilâncias ambientais) e assistência técnica em níveis locais e estaduais; além de fatores que podem influenciar na qualidade da água bruta como biomas, clima, uso e ocupação do solo, e questões histórico-culturais.

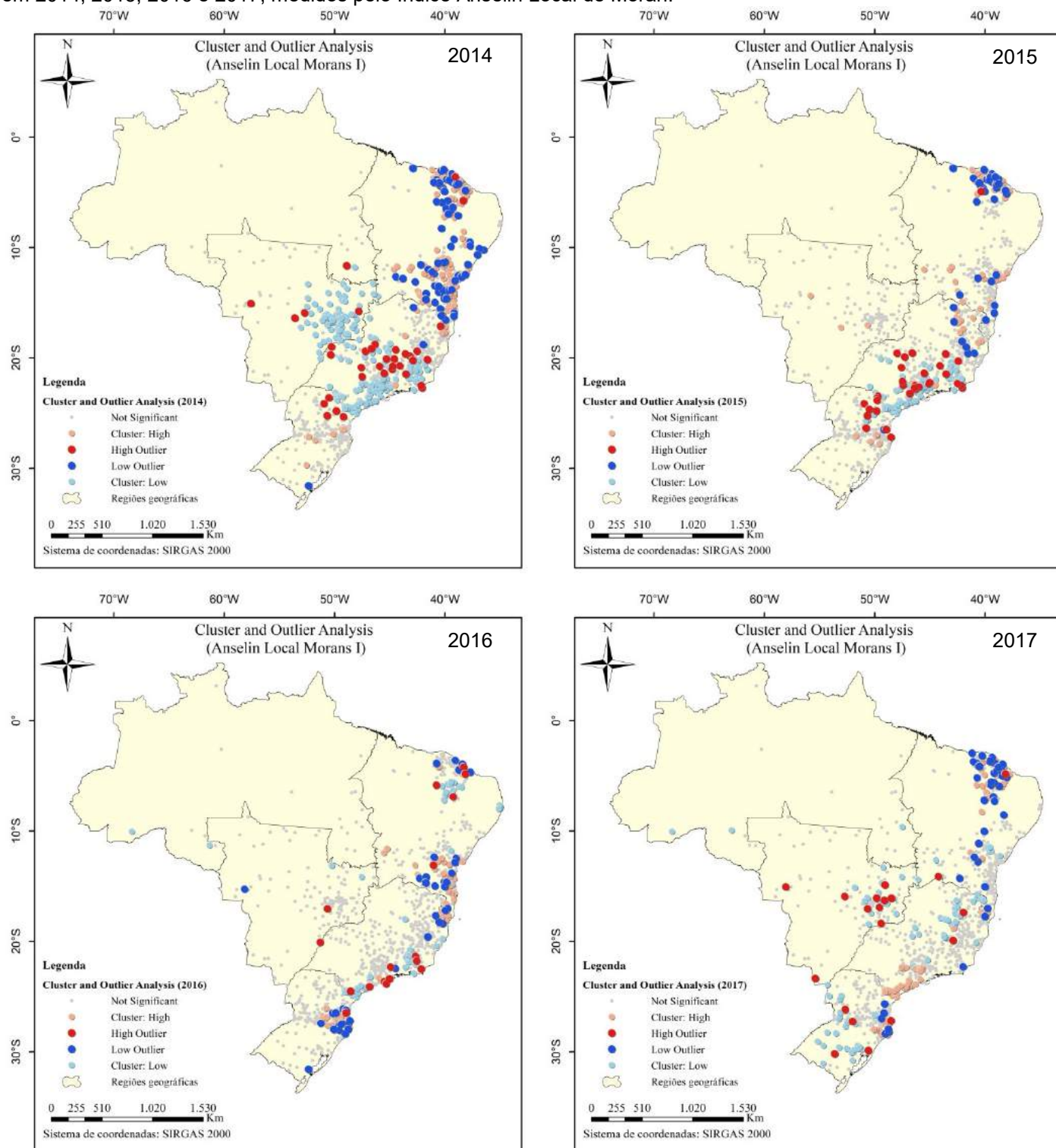
Figura 3.16 – Distribuição espacial de aglomerados das médias de valores do P95¹ informados no SISAGUA de 2014 a 2017, medidos pelo Índice Anselin Local de Moran.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

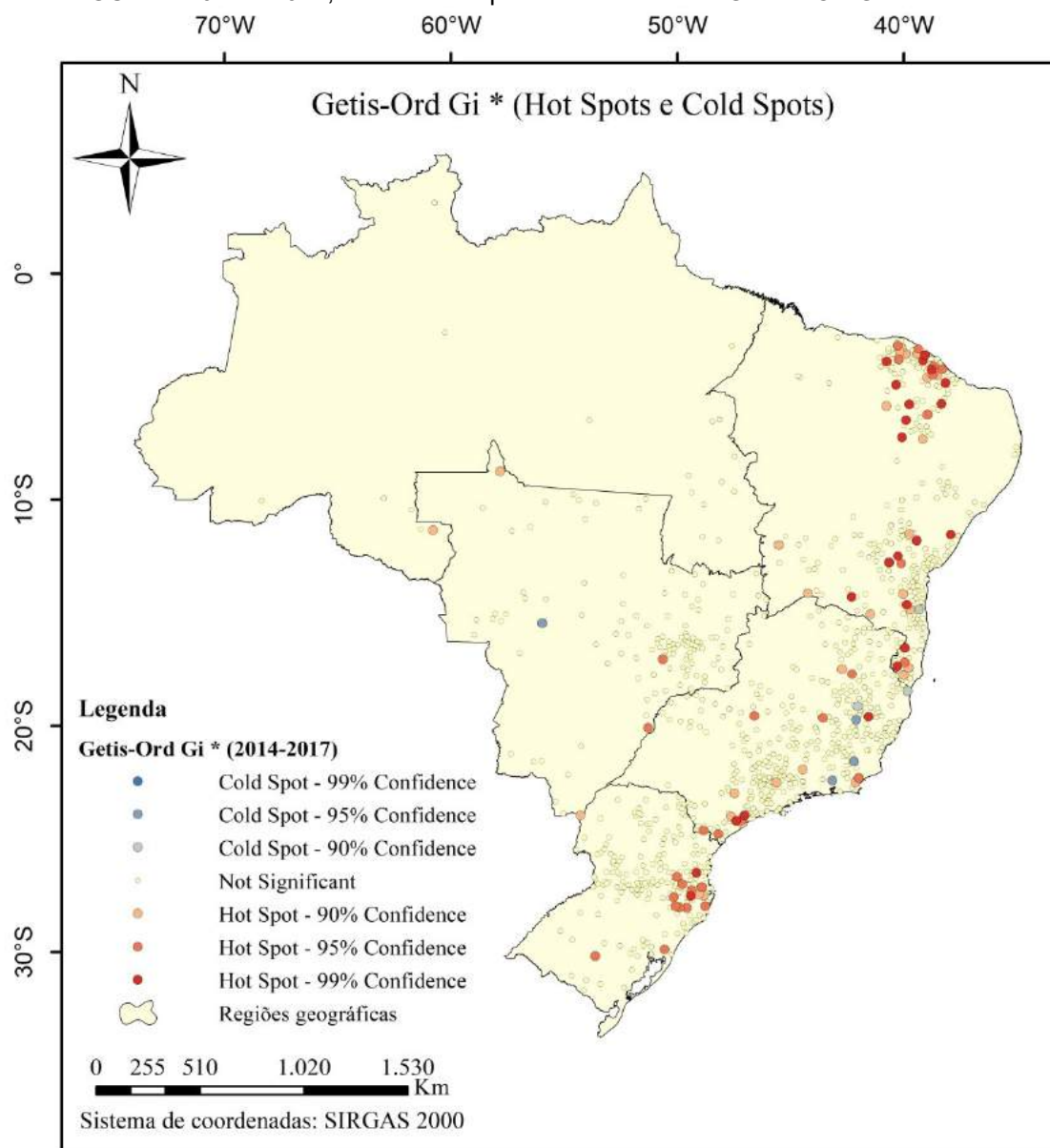
Figura 3.17 – Distribuição espacial de aglomerados das médias anuais de valores do P95¹ informados no SISAGUA em 2014, 2015, 2016 e 2017, medidos pelo Índice Anselin Local de Moran.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

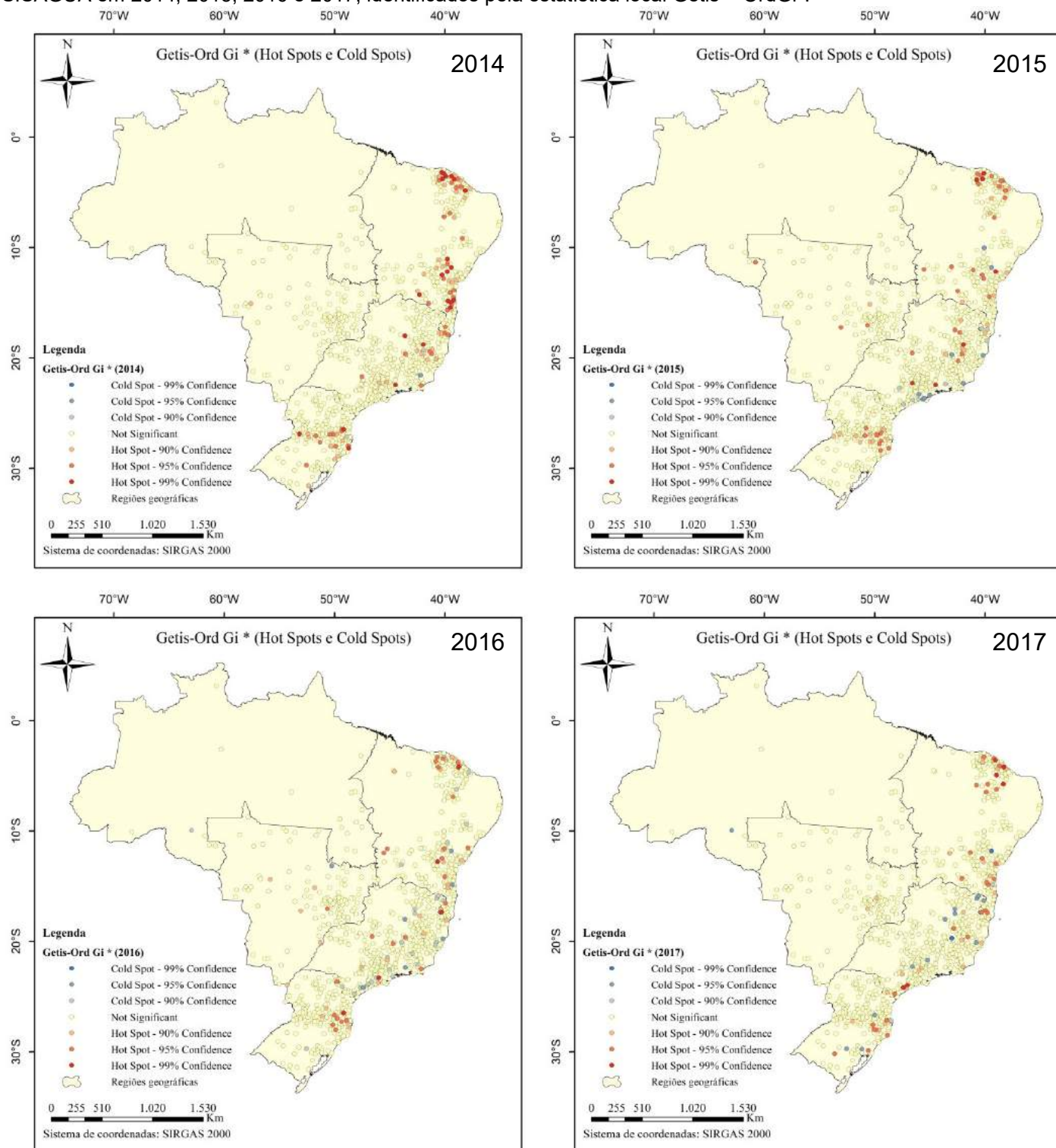
Figura 3.18 – Distribuição espacial de aglomerados das médias dos valores P95¹ informados no SISAGUA de 2014 a 2017, identificados pela estatística local Getis – OrdGi*.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 3.19 – Distribuição espacial de aglomerados das médias anuais dos valores de P95¹ informados no SISAGUA em 2014, 2015, 2016 e 2017, identificados pela estatística local Getis – OrdGi*.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

3.3 Conclusões

A localização geográfica das ETAs, tanto em nível de macrorregiões, quanto em nível local e sua relação com a circunvizinhança, demonstraram ter influência na turbidez da água filtrada.

De certa forma surpreendente, as ETAs da macrorregião Norte apresentaram o melhor desempenho em termos de turbidez da água filtrada. Todavia, dado o baixo percentual de informações enviadas das ETAs desta macrorregião, cumpre, em trabalhos futuros, confirmar este desempenho, buscando dados de um número maior de ETAs.

Por outro lado, as ETAs da macrorregião Nordeste apresentaram o pior desempenho, sugerindo necessidade de priorização de ações nesta macrorregião. Contudo, foram identificadas ETAs e aglomerados com bom desempenho nesta mesma macrorregião.

A macrorregião Centro-Oeste foi a que apresentou o segundo pior desempenho e, portanto, também demanda atenção.

As regiões Sul e Sudeste apresentaram desempenho semelhante entre si e abaixo apenas da macrorregião Norte.

Estas comparações regionais foram realizadas por meio de análises univariadas e, portanto, não levaram em consideração outras variáveis que possam estar relacionadas à localização macrorregional e à turbidez da água filtrada. Assim, temos nestas conclusões um grau de incerteza difícil de mensurar. Na tentativa de diminuir essa incerteza e incorporar outras variáveis, no próximo capítulo foram avaliadas o porte municipal e o modelo de gestão como possíveis fatores influentes na turbidez da água filtrada.

As análises de autocorrelação espacial local identificaram aglomerados intrarregionais que podem auxiliar no direcionamento de áreas prioritárias para atuação de órgãos responsáveis pela fiscalização e assistência técnica, com possibilidades de intercâmbio e troca de experiências a partir de pontos referência de boas práticas com elevado desempenho.

3.4 Referências

ALLAIRE, M.; WU, H.; LALL, U. National trends in drinking water quality violations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n.9, p. 2078–2083. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1719805115>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água**, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 25 jan. 2018.

BORJA, P. C. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 432-447. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Anexo XX da Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília (DF), Suplemento: 360-568. 2017. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 5 ago. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Aplicativo Série Histórica**. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 15 ago. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de Saneamento Básico VERSÃO REVISADA-2019**. 07/03/2019. Brasília. 2019. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Ver_saoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf. Acesso em: 7 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010** – Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 2010. 219p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2018.

LANDAU, E. C.; MOURA, L. **Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010**: domicílios urbanos e rurais. 1. ed. Brasília, DF Embrapa, 2016. 975p.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. **O Saneamento no Brasil**: políticas e interfaces. 2ª edição revista e ampliada. ed. Belo Horizonte - MG: Editora UFMG, 2008.

REZENDE, S.; WAJNMAN, S.; CARVALHO, J. A. M. HELLER, L. Integrando oferta e demanda de serviços de saneamento: análise hierárquica do panorama urbano

brasileiro no ano 2000. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 90-101, 2007.

RUBIN, S. J. Evaluating violations of drinking water regulations. Journal - **American Water Works Association**, v. 105, n. 3, p. 51–52, 2013.

CAPÍTULO 4 - INFLUÊNCIA DOS MODELOS DE GESTÃO E DO PORTE MUNICIPAL NA TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA POR FILTRAÇÃO RÁPIDA EM ETAs SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL

4.1 Introdução

Conforme resumido por Cunha (2011), a prestação de serviços de saneamento no Brasil pode ser exercida pelo próprio titular, ou seja, por meio da própria administração pública, ou de entes descentralizados vinculados ao ente federado que detém a titularidade, tais como autarquias, empresas públicas, ou de economia mista. Além disso, prossegue o referido autor, o marco regulatório vigente⁵ permite que o titular, por meio de celebração de contrato, delegue a operação dos serviços, no todo ou em parte, a terceiros – um concessionário público ou privado.

De acordo com estas linhas gerais, do ponto de vista da organização jurídica, os principais modelos institucionais de prestação de serviços de saneamento em vigor no Brasil podem ser apresentados como a seguir (HELLER *et al.*, 2013).

- Administração direta municipal.

A Prefeitura Municipal assume a gestão dos serviços por meio de secretarias, departamentos ou repartições; não há uma personalidade jurídica específica definida, tampouco autonomia financeira, uma vez que não existe vinculação exclusiva de receitas dos serviços.

- Administração indireta municipal.

A prestação dos serviços pode ser transferida pelo poder público, por meio de lei específica, para uma entidade de gestão descentralizada com personalidade jurídica, de direito público ou privado, dotadas de autonomia jurídica, administrativa e financeira.

No primeiro caso, os serviços são assumidos por uma empresa pública ou, mais frequentemente, por uma autarquia municipal - mais comumente denominada Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), mas também Superintendência de Água e Esgoto (SAE) ou Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). No

⁵ No momento da finalização do presente trabalho, como discutido brevemente adiante, o marco regulatório do setor sofreu alterações substanciais.

segundo caso, a administração indireta municipal pode ser exercida por empresas de economia mista, sob a forma de sociedade anônima, compostas por capital privado e capital estatal, sendo que as ações com direito a voto pertencem, em sua maioria, ao poder público (sociedades de economia mista com administração pública).

- Companhias Estaduais de Saneamento (CESB)

São empresas com âmbito de atuação regional, em sua maioria de economia mista, com administração pública ou privada, que obedecem a um sistema centralizado, administrativa e financeiramente. Os serviços são prestados na forma de concessões municipais autorizadas por lei específica, por prazo determinado e sujeitas ao regime de contratos administrativos.

- Empresas Privadas

Os serviços são prestados por meio de contrato entre a administração pública e entes privados, visando à implantação ou gestão dos serviços, no todo ou em parte. Em contratos de concessão parcial, em geral, os sistemas continuam sendo operados pelos serviços municipais, os quais mantêm sob sua responsabilidade a cobrança das tarifas, estabelecendo mecanismos de transferência de parte dessas receitas tarifárias ao concessionário. Contratos de concessão plena transferem para o contratado toda a operação e manutenção do sistema por determinado período, durante o qual a concessionária tem a responsabilidade de realizar os investimentos necessários e será remunerada por meio da cobrança de tarifas aos usuários; o poder público define regras sobre a qualidade dos serviços e a composição das tarifas.

- Organização social

Os serviços são prestados por entidades de interesse social e de utilidade pública, caracterizadas como pessoas jurídicas de direito privado, sem fins lucrativos, tais como associações de moradores. Estas organizações recebem a delegação dos serviços e assumem responsabilidades técnicas e financeiras.

Na Tabela 4.1 apresenta-se a distribuição, por abrangência e natureza jurídico-administrativa, dos prestadores de serviços de saneamento participantes do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS) em 2018. Os prestadores de serviços de abrangência regional são, em sua grande maioria, sociedades de economia mista (atendem a diversos municípios, limítrofes ou não, e geralmente, correspondem às CESBs). Entre os prestadores de serviços de abrangência

microrregional (atendem a menor quantidade de municípios, limítrofes ou não, do que os prestadores regionais), têm-se três autarquias e cinco empresas privadas. Por fim, entre os prestadores locais (atendem a um único município), prevalece a administração pública direta, seguida das autarquias e empresas privadas.

Tabela 4.1 - Distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo abrangência e natureza jurídico-administrativa.

Abrangência	Natureza Jurídica					
	Administração Direta	Autarquia	Sociedade. Economia Mista	Empresa Pública	Empresa Privada	Organização Social
Regional	0	2	24	1	1	0
Microrregional	0	3	0	0	5	0
Local	996	422	6	5	100	3
Brasil	996	427	30	6	106	3

Fonte: BRASIL, 2019.

Na Tabela 4.2 nota-se que os 28 prestadores de abrangência regional são os grandes responsáveis pelo atendimento da população urbana com serviços de abastecimento de água: 73,9% da população urbana de 78% dos municípios com dados informados ao SNIS em 2018 - 73,5% da população urbana residente em 72,3% do total de municípios do país. Por sua vez, os prestadores de serviços de abrangência local respondiam em 2018 pelo abastecimento de água de 26% da população urbana de 21% do total de municípios com dados informados ao SNIS.

Ainda sobre os prestadores municipais de serviços de água e esgotos, Rezende (2005) chama atenção para o fato que a administração direta dos serviços predomina em municípios menores e que apresentam Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) mais baixo, enquanto as autarquias municipais têm maior presença em municípios acima de 50 mil habitantes e/ou com IDH mais altos.

Tabela 4.2 - Distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo abrangência, número de municípios e população urbana atendidos.

Prestadores de serviços			Nº de municípios atendidos		População urbana dos municípios	
Abrangência	Quantidade		Água	Esgotos	Água	Esgotos
Regional	N	28	4.029	1.403	129.754.872	105.341.765
	(%)	(1,8%)	(78%)	(55,5%)	(73,9%)	(66,4%)
Microrregional	N	8	35	20	928.927	826.207
	(%)	(0,5%)	(0,7%)	(0,8%)	(0,5%)	(0,5%)
Local	N	1.532	1.102	1.107	44.830.494	52.547.831
	(%)	(97,7%)	(21,3%)	(43,8%)	(25,5%)	(33,1%)

Fonte: BRASIL, 2019.

De acordo com a Associação Brasileira de Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON, 2016), a iniciativa privada opera serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário em 316 municípios de 18 estados no Brasil. No total, são 258 contratos de prestação de serviços, incluindo 133 concessões plenas (água e esgoto) e 28 parciais (água). A estimativa da Abcon (2016) é que os serviços prestados pela iniciativa privada alcançam 31,11 milhões de pessoas, principalmente em cidades com menos de 50 mil habitantes, além de concessões em importantes capitais do país - Campo Grande, Cuiabá, Manaus, Palmas e parte da cidade do Rio de Janeiro.

O quadro descrito brevemente acima não é fortuito, mas resultado de diretrizes assumidas em sucessivos períodos da história do setor de saneamento no país⁶ e, como apontado por Bastos (2009), “em consonância com o correspondente macro contexto político do País”. A predominância das CESBs na prestação de serviços de abastecimento de água é herança do principal marco no histórico das políticas de saneamento no País – o Plano Nacional de Saneamento (Planasa). Vigente de 1971 a 1986, ou seja, durante o período dos governos militares, o Planasa era centrado, entre outros, nos seguintes aspectos: organização dos serviços em bases empresariais; auto sustentação financeira (por meio das receitas tarifárias); subsídio cruzado (tarifa única nos estados, com subsídio dos serviços nos municípios menores, deficitários, pelos de maior porte, superavitários); investimentos federais com recursos onerosos por intermédio pelo Banco Nacional da Habitação – BNH, oriundos, principalmente, do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS). Foram criadas CESBs em todos os estados da federação e para que o modelo se viabilizasse era necessária a adesão dos municípios. Muitos já contavam com serviços organizados, principalmente na forma de autarquias municipais - modelo incentivado por meio de convênios e contratos de administração com a Fundação Especial de Saúde Pública (FSESP) desde a década de 1950 e depois, até a década de 1990 por sua sucessora, a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) - e não aderiram; optaram por permanecer com suas autarquias, ou mesmo com sistemas de administração direta, apesar da pressão política e econômica exercida

⁶ Para uma visão mais ampla do histórico das políticas de saneamento no país, incluindo os tempos recentes se pode consultar as seguintes referências, que serviram de base ao presente texto: Costa (1994); Rezende e Heller (2008); Menicucci e D’Albuquerque (2018); Britto (2018); Heller (2018).

pelo governo federal, como, por exemplo, a restrição de acesso aos recursos do BNH.

As metas do Planasa para o abastecimento de água foram cumpridas em boa medida, com ampliação da cobertura de cerca de 45% da população urbana no final dos anos 1960, para 75% em 1980 e 83% em 1990, sendo que parte considerável da infraestrutura de tratamento de água em operação no país data dessa época. Entretanto, nesse mesmo período, de 20% de atendimento da população urbana com esgotamento sanitário, a cobertura estendeu-se a 39% (BRASIL, 1995). Por isso, como aponta Bastos (2009), “sejam quais forem as razões evocadas para o descompasso dos resultados obtidos, o fato é que as CESBs transformaram-se, preponderantemente, em ‘companhias de água’ ao invés de, efetivamente, saneamento básico, relegando aos municípios, esvaziados de recursos financeiros e técnicos, a responsabilidade pelos serviços de esgoto” – realidade esta que se vê expressa nos números da Tabela 4.2.

A década de 1980 foi marcada pelo fim do regime militar (1985) e por processos de redemocratização do país, contexto no qual que se deu a desmobilização financeira do Planasa, e assim seus vieses centralizador e autoritário perderam força. Mas os anos 1980 foram marcados também por recessão econômica (a “década perdida”) e redução substancial de investimentos federais em infraestrutura urbana, em meio ao que as CESBs evidenciaram graves problemas financeiros. Some-se a isto o fato que as políticas urbanas, entre as quais do saneamento, se viram fragmentadas e sem lugar institucional claro e articulado, incluindo-se nisto a extinção do BNH.

Este cenário, que muitos autores chamam de “dança institucional” ou do “vazio institucional”, prolongou-se pela década seguinte, isto é, o saneamento permaneceu sem novo arranjo, institucional e político, que viesse em lugar do Planasa. Aliás, fato marcante nesse período foi o veto integral do então presidente FHC a um projeto de lei aprovado no congresso, fruto de ampla discussão e consenso no setor e que propunha uma nova Política Nacional de Saneamento. Mas isso se inseria em uma agenda política mais ampla, marca dos anos 1990, a agenda neoliberal: ajuste fiscal, redução de investimentos federais em toda infraestrutura urbana e incentivo à privatização dos serviços de saneamento – em 1995, a lei de concessões (Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995) permitia a prestação de serviços públicos pela iniciativa privada; em 1998 foram suspensos os

financiamentos com recursos do FGTS para órgãos públicos, incluindo as operadoras de água e esgoto estaduais e municipais. Porém, a privatização dos serviços de saneamento enfrentou forte resistência por parte dos sindicatos, de organizações da sociedade civil e do corpo técnico-burocrático das empresas de saneamento e, naquele momento, não avançou. Mas, além do embate público vs. privado, no final do século XX outros tensionamentos afluíam e também pressionavam por um novo marco regulatório para o setor: conflitos federativos quanto à titularidade dos serviços; relações entre municípios e empresas estaduais, e questões relacionadas à participação e ao controle social.

Esta agenda é abraçada na década e meia seguinte nos governos do Partido dos Trabalhadores (2003 a 2016): criação do Ministério das Cidades e logo depois do Conselho das Cidades, formulação e promulgação da Lei 11.445/2007 (Lei do Saneamento) e a publicação em 2013 do Plano Nacional de Saneamento (Plansab). Importante registrar que a Lei do Saneamento procurava restabelecer as bases das relações entre os municípios com companhias estaduais por meio de “contratos de programa”, como alternativa aos contratos “draconianos” de concessão dos serviços às CESBs da época do Planasa. Os investimentos no setor são também retomados com maior vigor, tendo novamente como fonte de recursos empréstimos do FGTS. Oliveira *et al.*, (2016) registram que entre 2007 e 2016, no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), foi investido em abastecimento de água e esgotamento sanitário o dobro do montante investido entre 1998 e 2006.

Contudo, vários autores concordam que, embora importantes alterações nos marcos regulatório e institucional tenham ocorrido sobretudo no governo Lula, o “modelo Planasa” tem se mostrado resiliente, isto é, entre outros aspectos, permanecem: a predominância da prestação regionalizada dos serviços por meio das CESBs; a baixa participação do poder local na tomada de decisões sobre os serviços; a lógica da prestação dos serviços em bases mercantis (HELLER, 2018). Em relação a este último aspecto, vale ainda notar que apesar de ao longo desses anos as privatizações não terem avançado, o modelo de gestão das CESBs evoluiu reforçando a lógica empresarial do negócio, exemplificada, ao longo de toda a década dos anos 2000, na “emblemática e silenciosa abertura de capital das principais empresas estaduais criadas no ambiente do Planasa” (HELLER, 2018, p. 136).

Entretanto, em 2016 o país assiste a uma guinada brusca, política e ideológica, de rumos, com quebra de princípios e valores democráticos e com retomada, com pressa, da agenda liberal e privatista. No setor isso se traduz em “radicalização da visão do saneamento básico como negócio” (BRITTO, 2018), com programas de desestatização de companhias estaduais de saneamento; com a proposta, na forma de medida provisória (MP), de reformulação do marco regulatório instituído na Lei 11.445/2007; além do desmonte da estrutura de participação e controle social da política nacional de saneamento. O foco de tensões volta então a ser o público x privado. Em mais um esforço de resistência, a MP do governo Temer foi reprovada no Congresso, mas logo a seguir, já no governo Bolsonaro, um novo projeto de lei com propostas similares à MP é aprovado, reorientando o marco regulatório do saneamento no país. Ao tornar obrigatória a abertura de licitação para que estados e municípios contratem serviços de saneamento, isto é, ao extinguir a figura dos contratos de programa que possibilitavam a dispensa de licitação, visa-se, sobretudo, abrir caminho para ampliação da participação privada no setor.

As polarizações citadas em torno de modelos de prestação de serviços (público vs. privado; estadual vs. municipal) têm suscitado estudos acadêmicos em torno de temas tais como cobertura dos serviços, indicadores gerenciais e operacionais, além da identificação de fatores (econômicos, políticos, sociais, institucionais e legais) que exercem influência na opção pelo modelo de prestação de serviços de saneamento.

Heller *et al.* (2006) comparou diferentes categorias de gestão de serviços de saneamento básico em 600 municípios de Minas Gerais, adotando como referência o ano de 1998: (i) sistemas administrados por autarquia municipal, conveniada com a FUNASA; (ii) em que a autarquia fora outrora conveniada com a FUNASA; (iii) sistemas sob responsabilidade de autarquia municipal; (iv) sistemas de abastecimento de água administrados pela COPASA e de esgotamento sanitário pelo município; (v) ambos os serviços administrados pela COPASA; (vi) serviços administrados diretamente pela prefeitura e (vii) novos municípios, criados após 1989. Para cada município, foram construídos sete indicadores de caracterização do sistema de saneamento. As companhias estaduais se distinguiram com bons indicadores operacionais, altas coberturas dos serviços e eficiência em hidrometração, o que seria explicado por ser este o modelo de gestão por muito tempo oficialmente adotado e incentivado. Por outro lado, o trabalho também mostra

que, embora tenham sido deixadas de lado pela política oficial de saneamento durante a vigência do Planasa, as autarquias mostraram desempenho, se não superior em alguns aspectos, equivalente ao das companhias estaduais. Já os serviços administrados diretamente pelas prefeituras e os novos municípios apresentaram as mais baixas taxas de cobertura por abastecimento de água.

Rezende *et al.* (2007) buscaram identificar fatores determinantes da presença de redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos domicílios brasileiros no ano 2000. Os resultados obtidos da relação entre os modelos de gestão e a cobertura por rede de água domiciliar, tendo por categoria de referência as empresas privadas, indicaram que as autarquias municipais eram responsáveis pelas maiores coberturas, apresentando valores 2,3 vezes maiores do que a categoria referência. Os domicílios cujos prestadores dos serviços eram as companhias estaduais, por sua vez, apresentaram 80% mais chance de cobertura em relação à categoria de referência e os domicílios onde a prestação de serviços era administrada diretamente pela prefeitura municipal apresentaram chance de cobertura 14% maior que a categoria referência.

Heller *et al.* (2012) avaliaram comparativamente as principais modalidades de prestação de serviços públicos de abastecimento de água no conjunto dos municípios brasileiros em 2008, por meio de indicadores de desempenho operacionais e gerenciais: serviços prestados sob a forma de administração direta; sob a forma de administração indireta (autarquias municipais); empresas privadas; e modelos regionais. Os resultados destacaram positivamente os modelos regionais e as empresas privadas no tocante a aspectos financeiros, com maiores índices de hidrometração e menor inadimplência. Por outro lado, os serviços de administração indireta se sobressaíram por valores inferiores de reclamações sobre o valor cobrado pelos serviços. Quanto ao indicador “reclamações sobre a qualidade da água”, a administração direta municipal apresentou maior média, porém não houve diferença estatisticamente significativa (5%) entre as modalidades de prestação dos serviços.

Cabral *et al.* (2018), analisando indicadores do SNIS, verificaram diferenças de desempenho na prestação de serviços de abastecimento de água entre prestadores públicos e privados no Brasil entre 2003 e 2013. O grupo de prestadores privatizados tendeu a manter melhores índices de desempenho, desde o início do período analisado, com a SANEPAR influenciando o desempenho do

grupo privado e destacando-se na maioria dos índices. A SANEPAR é um caso especial, pois é uma CESB que abriu seu capital em 2002 e hoje o estado do Paraná possui 20% do capital total, mas 60% do capital votante. Contudo, os autores ressaltam que os prestadores públicos e privados analisados partiram de situações distintas, visto que os municípios com serviços privatizados já apresentavam situação melhor do que aqueles com prestadores públicos em 2003, o que corrobora o argumento de que a privatização tende a ocorrer em municípios que já apresentam condições favoráveis de abastecimento de água.

Alguns autores analisaram a eficiência dos serviços levando em consideração os custos associados ao volume de água faturada. Carvalho *et al.* (2015) indicam maior eficiência em serviços com alguma participação privada em sua gestão, ao mesmo tempo em que citam outros estudos, como Clarke *et al.* (2004), Motta e Moreira (2006) e Souza *et al.* (2007), que não encontraram evidências de que os serviços públicos brasileiros privados e públicos sejam significativamente diferentes em termos de eficiência. Souza *et al.* (2008) encontraram que as empresas públicas são mais eficientes que as privadas, embora com diferenças decrescentes ao longo do tempo. Ferro *et al.* (2014) inferiram que, embora os custos das empresas privadas sejam superiores aos dos públicos, as empresas privadas são mais eficientes. Faria *et al.* (2005) concluíram que as empresas privadas são apenas marginalmente mais eficientes do que as empresas públicas.

Porém, poucos estudos no Brasil têm se dedicado a avaliações comparativas sobre a qualidade da água produzida em diferentes cenários de prestação de serviço. Scriptore e Toneto Júnior (2012) analisando dados do SNIS de 2010 de 4.930 municípios brasileiros compararam o desempenho dos provedores públicos e privados de serviços de saneamento básico no Brasil em relação a um conjunto de indicadores: de atendimento, operacionais, financeiros, de investimento, qualidade, entre outros. Os resultados mostraram que não existe um tipo de provedor que apresente melhor desempenho na maioria dos indicadores analisados. Porém, em relação aos indicadores de qualidade da água (incidência de análises de cloro residual, de turbidez e de coliformes fora do padrão), os operadores privados mostraram pior desempenho.

Nos EUA, Wallsten e Kosec (2008) analisando dados de todos os sistemas de abastecimento de água de 1997 a 2003 verificaram que o tipo de administração

não afetou a conformidade da qualidade da água em relação à legislação pertinente. Lyon *et al.* (2017) analisaram a influência da mudança da administração (privatização e municipalização) de sistemas de abastecimento de água no número de violações dos padrões de qualidade da água, com dados de 92.413 sistemas de abastecimento de água dos EUA de 2006 a 2014. Os autores concluíram que ambos os tipos de transição levaram a reduções estatisticamente significativas nas violações, inferindo assim, que as melhorias são específicas do contexto econômico e institucional, e não relacionadas à natureza da administração, pública ou privada.

Montgomery *et al.* (2018), analisando um conjunto de dados de 168.823 sistemas de abastecimento de água dos EUA de 2010 a 2014, argumentam que os resultados da qualidade da água são impulsionados, principalmente, pelos tipos de grupos populacionais e de partes interessadas no sistema de abastecimento de água em questão. A conformidade da qualidade da água dos sistemas privados foi melhor nos sistemas de maior porte, o que foi entendido com consistente com uma maior pressão de movimentos sociais; nos sistemas públicos a conformidade melhorou com o melhor nível educacional local, ou seja, grupo populacional mais preocupado e com maior capacidade de organização e de pressão.

Rahman *et al.* (2010), estudando 971 sistemas de água do estado do Arizona, detectaram que as violações aos padrões de qualidade da água foram ligeiramente mais frequentes nas concessionárias de administração pública do que nas privadas e aumentaram com o aumento do porte da concessionária. Por outro lado, Rubin (2013) verificou que nos EUA sistemas de água de maior porte, com população abastecida acima de 100.000, apresentaram menores índices de violações da qualidade da água que representam risco à saúde. Por sua vez, Allaire *et al.* (2018) investigaram tendências espaciais e temporais de violações da qualidade da água nos EUA e identificaram que: algumas áreas dos EUA enfrentam problemas recorrentes e que as áreas rurais sofreram mais violações da qualidade da água; sistemas com administração privada apresentaram frequência de violações (6,5%) um pouco menor do que os com administração pública (8,3%).

No Japão, analisando os dados de qualidade da água do cadastro nacional de milhares de ETAs entre os anos de 2001 a 2005, Ohno *et al.* (2009) encontraram como os fatores de maior impacto na turbidez da água tratada a turbidez da água bruta, seguida pelo porte da ETA, sendo que, quanto maior a ETA, mais baixa foi a turbidez da água tratada.

O presente estudo pretende, pois, contribuir no preenchimento de lacunas de informações sobre a influência dos modelos de gestão dos serviços de saneamento, bem como do porte do município, na qualidade de água tratada no Brasil, mais especificamente, de turbidez da água tratada.

4.2 Resultados e Discussão

4.2.1 Composição do banco de dados

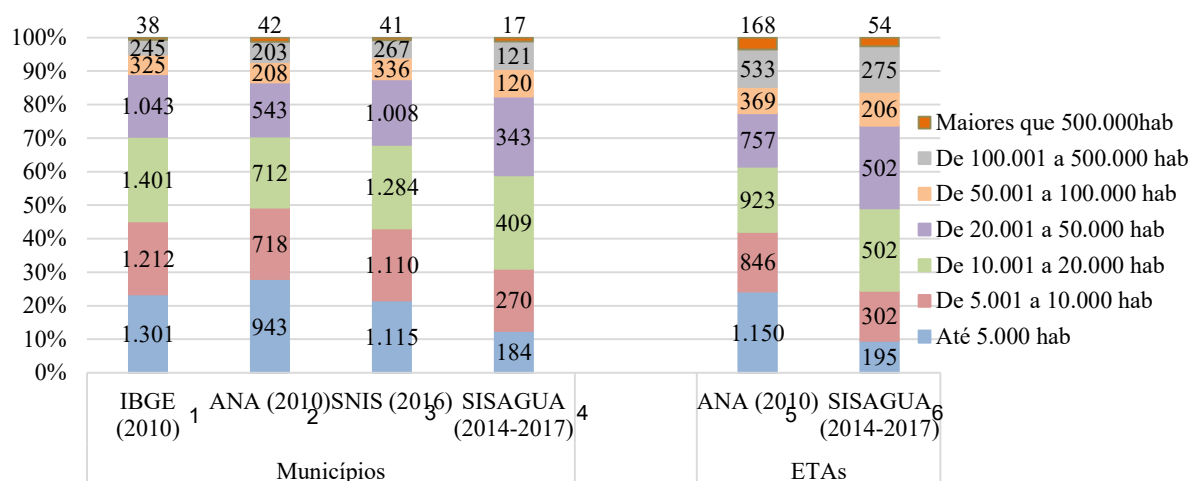
Como referido no Capítulo 2, do conjunto inicial foram excluídos 20% dos dados de P95I, 48% dos SAA cadastrados e 27% dos municípios (dados inconsistentes, não validados e *outliers*). A base de dados do presente estudo ficou então composta por 41.358 dados de P95I, de 2.036 ETAs com captação em manancial superficial e tratamento por filtração rápida, localizadas em 1.464 municípios. Esse conjunto representa 43% dos municípios com ETAs com captação em mananciais superficiais cadastrados pelo Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010), 28% do total de municípios com dados informados ao SNIS em 2016 (SNIS, 2016), 26% do total de municípios com abastecimento de água levantados pela PNSB-IBGE em 2008 (IBGE, 2008) e 26% do total de municípios brasileiros levantados no censo de 2010 (IBGE, 2010). O número total de ETAs corresponde a 43% das ETAs com captação superficial ou mista levantadas pelo Atlas Brasil (ANA, 2010).

O conjunto de dados analisados do SISAGUA apresenta distribuições de municípios e de ETAs por porte de município semelhantes às apresentadas pelos dados do IBGE, SNIS e ANA. Porém, há na base de dados do SISAGUA menor representação de ETAs no grupo dos menores municípios, com menos de 5 mil habitantes (Figura 4.1). Isso pode ter relação com a provável menor capacidade instalada de recursos técnicos e humanos para envio de dados nesses municípios.

O número de ETAs com dados de turbidez informados no SISAGUA aumentou em todas as faixas de porte municipal ao longo dos anos estudados, entretanto, sem que houvesse alteração expressiva na proporção entre as faixas (Figura 4.2). Verificou-se também descontinuidade na informação de dados de

algumas ETAs, pois o total de ETAs de todo período (2.036) é maior que o total de ETAs do ano com mais ETAs - 1.617 ETAs em 2017 (Figura 4.2).

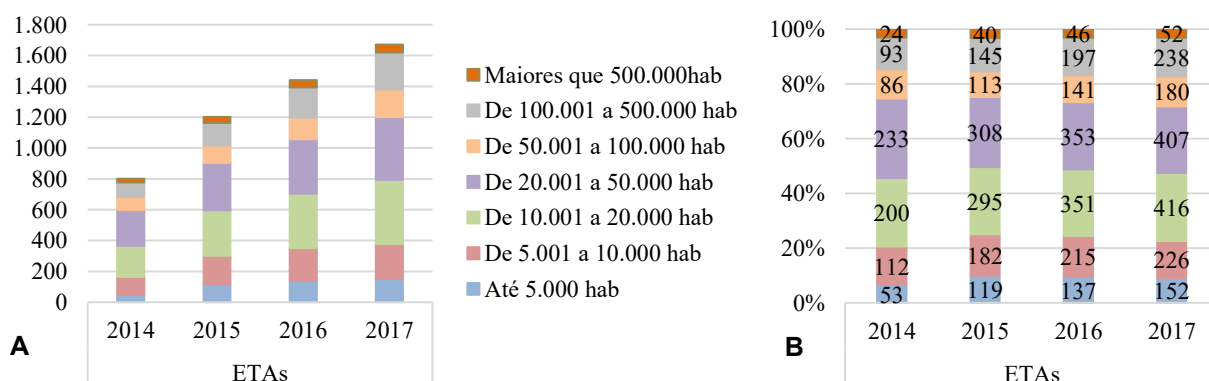
Figura 4.1 – Número e distribuição de frequência de municípios e ETAs por porte de município nas bases de dados do IBGE, ANA, SNIS e SISAGUA.



Fonte: IBGE (2010), ANA (2010), SNIS (2016), SISAGUA (2014-2017).

(1) - Municípios brasileiros. (2) - Municípios com captação superficial/mista. (3) - Municípios com abastecimento de água. (4) - Municípios que possuem ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017). (5) - ETAs com captação superficial/mista. (6) - ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017).

Figura 4.2 - Número (A) e distribuição de frequência (B) por porte de município de ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017.



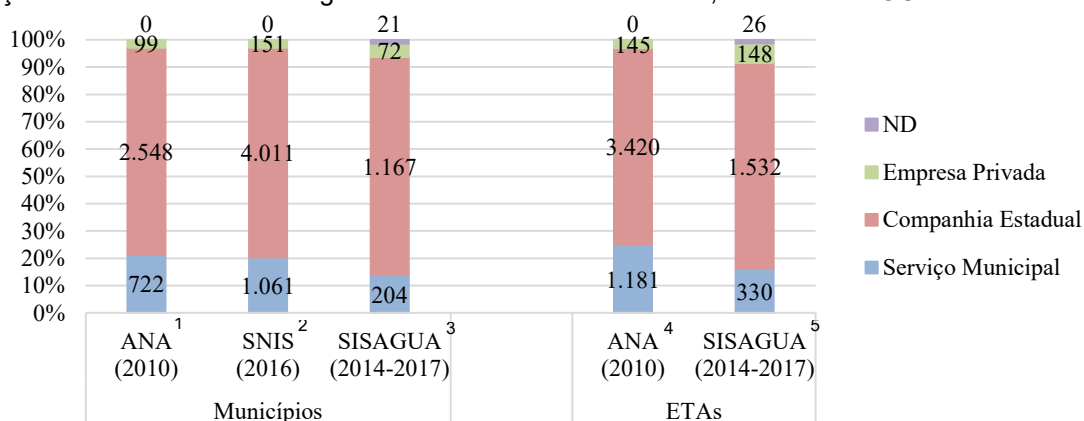
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Quanto aos modelos de gestão, na base de dados analisada não se encontram serviços com gestão por organização social nem por empresa pública. Entre os modelos presentes, predominam as ETAs e municípios com gestão por sociedades de economia mista com administração pública (Spub), representadas por

CESBs, e com gestão por autarquias (Aut), representadas por SAAEs. Com menor representação aparecem os serviços municipais com administração pública direta (APD), como secretarias e departamentos municipais. A única instituição caracterizada como gestão por sociedade de economia mista com administração privada (Spriv), a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná)⁷ contribuiu com dados de 146 municípios e 165 ETAs (Figura 4.3, Figura 4.4 e Tabela 4.3). Na Figura 4.3 são apresentadas as distribuições de municípios e ETAs categorizadas em empresas privadas, companhia estadual e serviço municipal, segundo classificação do Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010), enquanto na Figura 4.4 são detalhados os modelos de gestão que constam na classificação do SNIS: em ambas as figuras são apresentadas também as contagens de municípios e ETAs com dados informados no SISAGUA entre 2014 e 2017.

A evolução do número de municípios e ETAs com dados informados no SISAGUA ao longo do período avaliado não alterou, de forma expressiva, a proporção entre os diferentes modelos de gestão (Figura 4.5).

Figura 4.3 – Número e distribuição de frequência de municípios e ETAs por modelo de gestão de serviços de abastecimento de água nas bases de dados da ANA, SNIS e SISAGUA.

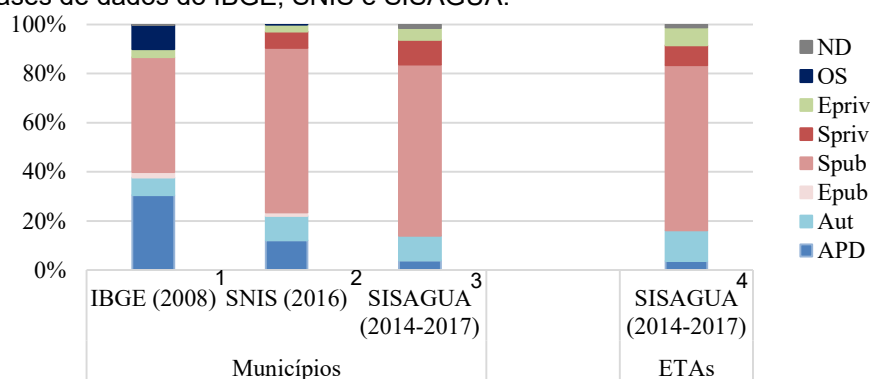


Fonte: ANA (2010), SNIS (2016), SISAGUA (2014-2017).

(1) - Municípios com captação superficial/mista. (2) - Municípios com abastecimento de água. (3) - Municípios que possuem ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017). (4) - ETAs com captação superficial/mista. (5) - ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017).

⁷ empresa de capital aberto, em que o estado do Paraná detém 20,03% do capital total, mas 60,10% do capital votante ([www.http://ri.sanepar.com.br/governanca-corporativa/composicao-acionaria](http://ri.sanepar.com.br/governanca-corporativa/composicao-acionaria)).

Figura 4.4 – Percentuais de municípios e ETAs por modelo de gestão de serviços de abastecimento de água nas bases de dados do IBGE, SNIS e SISAGUA.



Fonte: IBGE (2008), SNIS (2016), SISAGUA (2014-2017).

(1) - Municípios brasileiros (IBGE, 2008). (2) - Municípios com abastecimento de água (SNIS, 2016). (3) - Municípios que possuem ETA com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017). (4) - ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017).

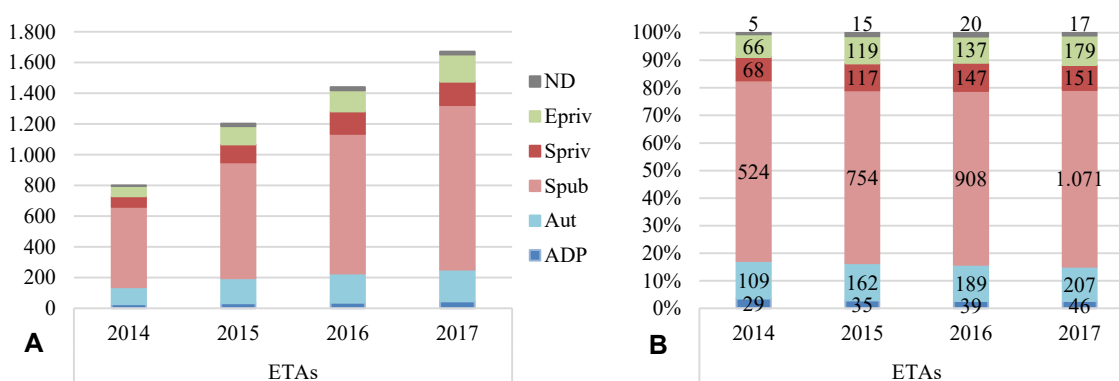
Tabela 4.3 - Total de municípios e ETAs por modelo de gestão nas bases de dados do IBGE (2008), SNIS (2016) e SISAGUA (2014-2017).

Municípios /ETAs	Fonte	APD	Aut	Epub	Spub	Spriv	Epriv	OS	ND	TOTAL
Municípios	IBGE (2008) ¹	2.347	555	170	3.605		249	768	10	7.704
	SNIS (2016) ²	633	517	78	3.497	345	151	2	0	5.223
	SISAGUA (2014-2017) ³	57	147	0	1.021	146	72	0	21	1.464
ETAs		74	256	0	1.367	165	148	0	26	2.036

Fontes: IBGE (2008), SNIS (2016), SISAGUA (2014-2017).

(1) - Municípios brasileiros (IBGE, 2008). (2) - Municípios com abastecimento de água (SNIS, 2016). (3) - Municípios que possuem ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA (2014-2017).

Figura 4.5 – Número (A) e distribuição de frequência (B) por modelo de gestão de ETAs com captação superficial e filtração rápida com dados informados no SISAGUA nos anos de 2014 a 2017,



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

4.2.2 Caracterização dos dados

Na Tabela 4.4 apresenta-se um quadro geral, por modelo de gestão das ETAs e por porte dos municípios, do número de ETAs, municípios e instituições com dados informados no SISAGUA (2014-2017), dos respectivos percentuais de informação e de atendimento ao padrão de turbidez; incluem-se ainda os percentuais de ETAs classificadas como melhores e piores de acordo com os critérios definidos no item 1.5.1.

Analisando os subgrupos da interseção entre modelos de gestão e porte municipal, chama atenção alguns subgrupos com poucas ETAs e instituições, com altos percentuais de atendimento, tais como: (i) empresas privadas (Epriv) de cidades com menos de 5 mil habitantes, com uma ETA com 95% de atendimento; (ii) sociedades de economia mista com administração privada (Spriv) de cidades com mais de 500 mil habitantes, com seis ETAs da mesma instituição com total de 94% de atendimento. Porém, os piores percentuais de atendimento também foram verificados em grupos com poucas ETAs, particularmente em ETAs de administração pública direta (APD) com população entre 20 e 50 mil habitantes, com oito ETAs e 4,1% de atendimento; e entre 50 e 100 mil habitantes, com uma ETA e 7,7% de atendimento. Cabe ainda o registro que este modelo de gestão não se apresentou em municípios com mais de 100 mil habitantes.

A classificação entre melhores e piores ETAs (mais de 12 meses com dados informados, estando todos, respectivamente, dentro e fora do padrão de água filtrada $\leq 0,5$ ut), acabou por gerar dois grupos numericamente parecidos, respectivamente com 9,2% e 10,4% das ETAs. Todos os modelos de gestão e portes municipais apresentaram ETAs caracterizadas entre o grupo das “melhores” e também entre as “piores”, o que demonstra heterogeneidade intragrupos.

Na Tabela 4.5 apresenta-se uma caracterização mais detalhada dos dados mensais de P95I do total de ETAs, por porte municipal e modelo de gestão.

Tabela 4.4 - Número de ETAs, municípios e instituições com dados informados no SISAGUA (2014-2017), percentuais de informação e de atendimento ao padrão de turbidez no período, e percentual de ETAs classificadas como melhores e piores; dados por modelo de gestão e por porte municipal.

Porte	Unidade	Modelo de Gestão						Total Porte
		APD	Aut	Epriv	Spriv	Spub	ND	
<5 mil hab.	ETAs	17	19	1	13	134	11	195
	N° Municípios	17	17	1	12	130	7	184
	Instituições	17	3	1	1	7	7	36
	% Informação	39%	57,1%	83,3%	35,3%	34,5%	38,6%	37,6%
	Atendimento	43,4%	81,2%	95%	89,1%	57,5%	66,2%	62,6%
	% Melhores	1 (5,9%)	6 (31,6%)	0	4 (30,8%)	11 (8,2%)	1 (9,1%)	23 (11,8%)
5 a 10 mil hab.	Etas Piores	2 (11,8%)	0	0	0	7 (5,2%)	2 (18,2%)	11 (5,6%)
	ETAs	14	15	15	21	233	4	302
	N° Municípios	14	15	14	21	202	4	270
	Instituições	14	8	4	1	11	4	42
	% Informação	26,6%	63,9%	65,7%	52,9%	38,1%	35,9%	41,2%
	Atendimento	50,3%	68,7%	84,8%	76,7%	48,3%	24,6%	55,1%
10 a 20 mil hab.	% Melhores	1 (7,1%)	1 (6,7%)	3 (20%)	4 (19%)	17 (7,3%)	0	26 (8,6%)
	Etas Piores	0	1 (6,7%)	1 (6,7%)	0	21 (9%)	0	23 (7,6%)
	ETAs	27	22	23	55	372	4	503
	N° Municípios	14	19	21	48	305	4	410
	Instituições	14	19	13	1	13	4	64
	% Informação	34,3%	46,9%	57,2%	49,1%	38,8%	50,5%	41%
20 a 50 mil hab.	Atendimento	36,6%	61,4%	60,9%	68,2%	42,6%	17,5%	47,5%
	% Melhores	1 (3,7%)	4 (18,2%)	1 (0%)	7 (12,7%)	27 (7,3%)	0	40 (8%)
	Etas Piores	2 (7,4%)	3 (13,6%)	1 (4,3%)	4 (7,3%)	46 (12,4%)	1 (25%)	57 (11,3%)
	ETAs	8	55	41	40	353	5	502
	N° Municípios	5	38	22	37	239	4	343
	Instituições	5	39	24	1	15	4	88
50 a 100 mil hab.	% Informação	19,3%	54,4%	51,6%	52,7%	41,8%	20%	44,2%
	Atendimento	4,1%	43,5%	42,9%	76,3%	51,3%	22,9%	51,4%
	% Melhores	0	4 (7,3%)	1 (2,4%)	14 (35%)	22 (6,2%)	0	41 (8,2%)
	Etas Piores	3 (37,5%)	9 (16,4%)	5 (12,2%)	1 (2,5%)	38 (10,8%)	0	56 (11,2%)
	ETAs	1	53	16	12	123	0	205
	N° Municípios	1	26	10	12	72	0	120
100 a 500 mil hab.	Instituições	1	28	11	1	12	0	53
	% Informação	81,3%	53,6%	40%	60,9%	38,1%	-	43,8%
	Atendimento	7,7%	57,4%	68,1%	67,8%	41,5%	-	50,3%
	% Melhores	0	6 (11,3%)	1 (6,3%)	4 (33,3%)	5 (4,1%)	-	16 (7,8%)
	Etas Piores	0	2 (3,8%)	1 (6,3%)	0	20 (16,3%)	-	23 (11,2%)
	ETAs	0	71	67	18	119	0	275
>500 mil hab.	N° Municípios	0	26	23	14	66	0	121
	Instituições	0	26	27	1	15	0	69
	% Informação	-	46,4%	43,6%	52%	36,2%	-	41,6%
	Atendimento	-	34%	73%	80,6%	37,8%	-	49,2%
	% Melhores	-	2 (2,8%)	21 (31,3%)	4 (22,2%)	9 (7,6%)	-	36 (13,1%)
	Etas Piores	-	14 (19,7%)	8 (11,9%)	0 (0%)	17 (14,3%)	-	39 (14,2%)
Total Mod. Gestão	ETAs	67	244	193	165	1343	24	2036
	N° Municípios	51	144	97	146	1020	19	1464
	Instituições	51	125	84	1	21	19	301
	% Informação	32,8%	52,8%	49,6%	50,9%	38,9%	36,3%	42,3%
	Atendimento	37,6%	51,6%	63,4%	75%	46,6%	43,1%	51,7%
	% Melhores	3 (4,5%)	24 (9,8%)	28 (14,5%)	41 (24,8%)	91 (6,8%)	1 (4,2%)	188 (9,2%)
	Etas Piores	7 (10,4%)	29 (11,9%)	16 (8,3%)	5 (3%)	152 (11,3%)	3 (12,5%)	212(10,4%)

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Tabela 4.5 - Estatística descritiva dos valores mensais de P95I¹, para o total das ETAs e por porte municipal e modelo de gestão, dados do SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Porte do município / Modelo de Gestão		Nº Total (NT)	Nº de informação (Ni)	Nº dados faltantes	% (Ni/NT)	Média	Ep media	Dp	σ	CV	Mín	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	Máx	Q ₇₅ - Q ₂₅	Moda	Assimetria	Curtose
Total		97.728	41.358	56.370	42,3%	0,64	0,0020	0,40	0,16	63,3	0,01	0,35	0,50	0,90	1,93	0,55	0,50	1,04	0,71
Porte do município (mil hab.)	<5	9.360	3.524	5.836	3,6%	0,55	0,0064	0,38	0,14	68,6	0,02	0,30	0,46	0,73	1,93	0,43	0,50	1,33	1,76
	5-10	14.496	5.979	8.517	6,1%	0,61	0,0050	0,39	0,15	64,1	0,02	0,32	0,49	0,83	1,92	0,51	0,50	1,16	1,01
	10-20	24.144	9.890	14.254	10,1%	0,66	0,0041	0,41	0,16	62,0	0,01	0,37	0,55	0,90	1,93	0,53	0,50	0,94	0,60
	20-50	24.096	10.660	13.436	10,9%	0,65	0,0041	0,43	0,18	65,6	0,02	0,35	0,50	0,90	1,93	0,55	0,50	0,97	0,40
	50-100	9.840	4.310	5.530	4,4%	0,64	0,0063	0,41	0,17	64,5	0,01	0,35	0,50	0,85	1,93	0,50	0,50	1,11	0,73
	100-500	13.200	5.497	7.703	5,6%	0,68	0,0053	0,39	0,15	57,4	0,02	0,40	0,52	0,97	1,93	0,57	0,50	0,92	0,53
	>500	2.592	1.498	1.094	1,5%	0,59	0,0080	0,31	0,10	52,2	0,01	0,40	0,49	0,72	1,90	0,32	0,50	1,48	2,42
Modelo de Gestão	APD	3.216	1.055	2.161	1,1%	0,74	0,0136	0,44	0,19	59,8	0,02	0,40	0,67	1,00	1,90	0,60	1,00	0,58	-0,24
	Aut	11.712	6.188	5.524	6,3%	0,64	0,0050	0,39	0,15	61,4	0,01	0,35	0,50	0,95	1,93	0,60	1,00	0,93	0,44
	Epriv	9.264	4.594	4.670	4,7%	0,54	0,0045	0,31	0,09	56,8	0,01	0,35	0,48	0,70	1,93	0,35	0,50	1,08	1,52
	Spriv	7.920	4.035	3.885	4,1%	0,48	0,0034	0,22	0,05	45,1	0,07	0,36	0,45	0,51	1,90	0,15	0,48	2,18	7,69
	Spub	64.464	25.068	39.396	25,7%	0,67	0,0027	0,43	0,19	63,9	0,01	0,35	0,56	0,92	1,93	0,57	0,50	0,89	0,26
	ND	1.152	418	734	0,4%	0,71	0,0260	0,53	0,28	74,5	0,02	0,30	0,65	1,03	1,93	0,73	0,02	0,40	-0,75

Ep: erro padrão; Dp : desvio padrão; σ : variância; CV: coeficiente de variação; Q₂₅: 1º quartil; Q₅₀: mediana; Q₇₅: 3º quartil;

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

4.2.3 Desempenho das ETAs por porte dos respectivos municípios

O agrupamento por porte de município revelou diferenças entre as informações prestadas pelas ETAs no SISAGUA nas diferentes faixas populacionais. De início, nota-se aumento do percentual de informação com o aumento da faixa populacional ao longo do período analisado. Nos dois extremos, as ETAs das menores cidades, com menos de 5 mil habitantes, apresentaram os menores percentuais de informação (mediana = 31%), enquanto nas ETAs dos maiores municípios, com mais de 500 mil habitantes, a mediana dos percentuais de informação chegou a 68% (Tabela 4.6).

O teste de medianas de Mood revelou diferenças estatisticamente significativas entre os percentuais de informações prestadas pelas ETAs nas diferentes faixas populacionais ($p = 0,021$). O percentual de informação das ETAs da maior faixa populacional, com mais de 500 mil habitantes, que apresentaram o maior percentual de informação, não se diferenciou apenas do das ETAs de municípios das faixas populacionais entre 20 e 100 mil habitantes, mas também do percentual de informação das ETAs das demais faixas populacionais (Tabela 4.6 e Figura 4.6). Contudo, todas as faixas populacionais apresentaram aumento no percentual de ETAs com dados de turbidez (P95I) informados ao longo do período avaliado (Tabela 4.7).

Tabela 4.6 – Resultados do teste de medianas de Mood do percentual de ETAs com valores de P95I¹ informados no SISAGUA (% informação), médias dos valores do P95I¹ (Média P95I), e percentual de ETAs que atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (% atendimento), janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por porte municipal.

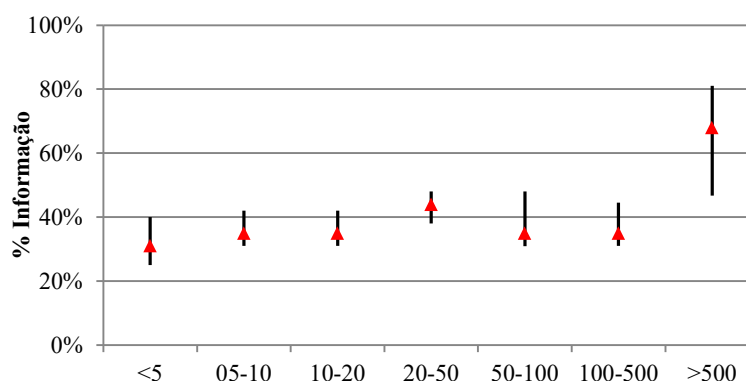
Porte Municipal (mil hab.)	% Informação			Média P95I			% atendimento		
	Mediana	IC (95%)		Mediana	IC (95%)		Mediana	IC (95%)	
		Li	Ls		Li	Ls		Li	Ls
<5	31%	25%	40%	0,53	0,48	0,60	68%	51%	80%
5-10	35%	31%	42%	0,56	0,52	0,62	50%	45%	59%
10-20	35%	31%	42%	0,64	0,59	0,70	36%	27%	46%
20-50	44%	38%	48%	0,65	0,60	0,70	40%	30%	50%
50-100	35%	31%	48%	0,66	0,60	0,73	33%	24%	44%
100-500	35%	31%	45%	0,60	0,52	0,69	47%	33%	62%
>500	68%	47%	81%	0,58	0,50	0,71	50%	33%	62%
p	0,021			0,089			0,006		

IC (95%) – intervalo de confiança de 95%, Li - limite inferior; Ls – limite superior

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 4.6 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos percentuais de informações prestadas pelas ETAs ao SISAGUA (2014-2017) por faixas de porte populacional dos respectivos municípios.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Tabela 4.7 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs do Brasil com valores de P95I¹ informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por porte municipal.

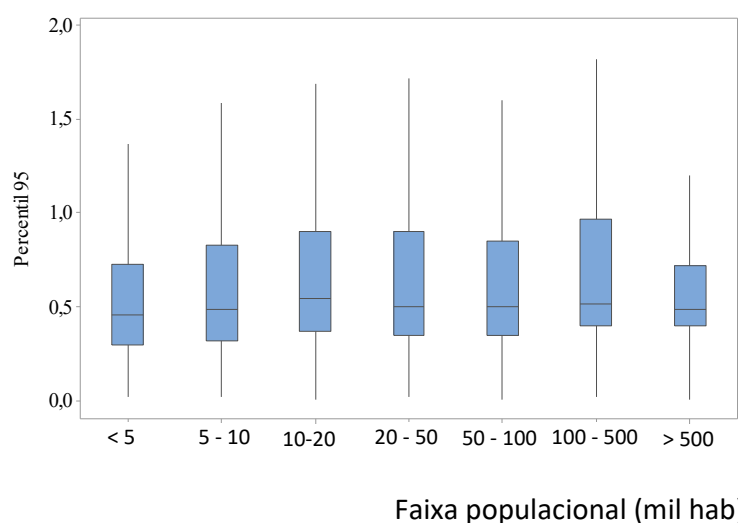
Porte Municipal (mil hab.)	Percentual de ETAs			p
	jan.2014	Média do período	dez.2017	
<5	10%	38%	46%	<0,0001
5 – 10	17%	41%	54%	<0,0001
10 – 20	16%	41%	53%	<0,0001
20 - 50	25%	44%	51%	<0,0001
50 - 100	20%	44%	59%	<0,0001
100 - 500	14%	42%	57%	<0,0001
>500	22%	58%	78%	<0,0001

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Também com base no teste de Mood, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas ($p = 0,089$) entre as medianas das médias dos valores de P95I informados pelas ETAs de municípios de diferentes portes, o que pode ser constatado visualmente na Figura 4.7 e na Figura 4.8. Por outro lado, foram detectadas diferenças entre os percentuais de atendimento ao padrão de 0,5 uT por ETAs dos diferentes portes populacionais dos respectivos municípios ($p = 0,006$) (Figura 4.9).

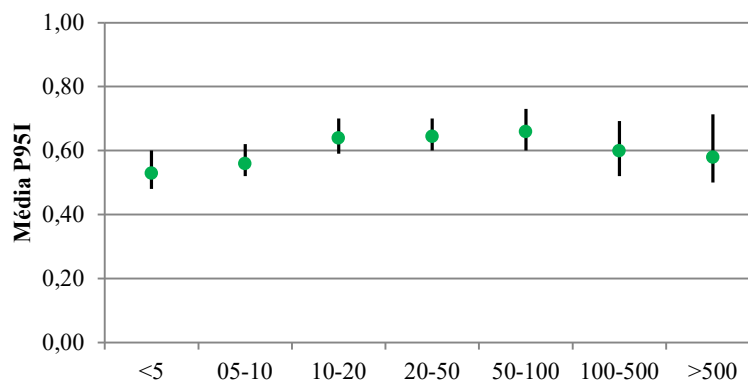
Figura 4.7 – Representação gráfica¹ da estatística descritiva dos valores do P95I² dos municípios onde se situam as ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - Primeiro e terceiros quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos *box-plot*); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais). (2) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

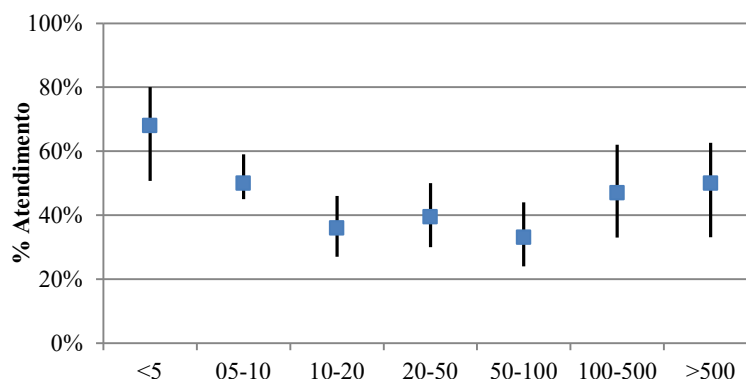
Figura 4.8 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores do P95I¹ por faixas de porte populacional dos municípios onde se situam as ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Figura 4.9 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores de percentual de atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais ($P95I^1 \leq 0,5uT$) por faixas de porte populacional dos municípios onde se situam as ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

O percentual de atendimento ao padrão de 0,5 uT foi melhor nas duas faixas com menor população - menos de 5mil habitantes (62,6% das ETAs) e entre 5 e 10 mil habitantes (55,1%) - e na faixa com maior população - acima de 500 mil habitantes (56,3%) (Tabela 4.4). Porém, pela análise da sobreposição dos intervalos de confiança calculados pelo teste de medianas de Mood (Tabela 4.6 e Figura 4.9) é possível verificar que do grupo de ETAs com os mais baixos percentuais de atendimento ao padrão de 0,5 uT - só não fazem parte as ETAs das duas primeiras faixas populacionais – de até 10 mil habitantes. Por outro lado, o grupo com os maiores índices de atendimento só não inclui as ETAs de municípios com população entre 10 e 100 mil habitantes. As ETAs das faixas até 10 mil habitantes apresentaram o melhor desempenho no atendimento ao padrão 0,3 uT, com percentual de atendimento em torno de 20% na maior parte do período, chegando a 38% das ETAs da menor faixa em agosto de 2015 (Figura 4.12).

A análise temporal dos dados revela aumento no número de informações mensais enviadas ao SISAGUA e uma pequena melhora no atendimento geral ao padrão de 0,5 uT. Esta evolução é mais evidente nas ETAs dos municípios com mais de 100 mil habitantes (Figura 4.10).

Chama atenção o alto percentual de dados acima do padrão de 0,5 uT, e mesmo acima de 1,0 uT (valor máximo permitido pela padrão de potabilidade brasileiro em 5% dos dados mensais acima de 0,5 uT). As ETAs de municípios com

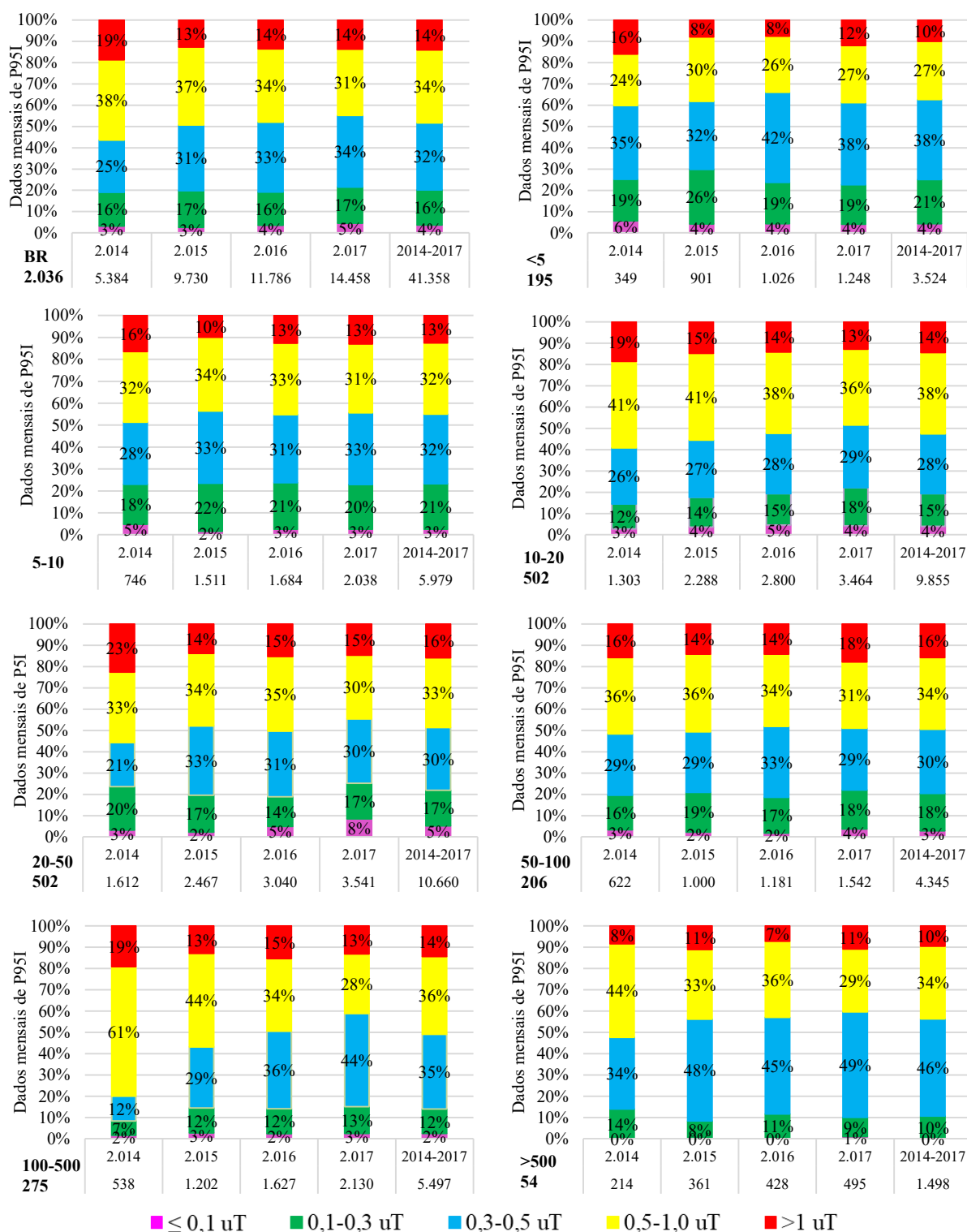
população entre 10 e 20 mil habitantes apresentaram o maior percentual de dados acima de 0,5 uT (52%), enquanto as ETAs de municípios com população entre 20 e 100 mil habitantes apresentaram os maiores percentuais de dados acima de 1,0 uT (Figura 4.10).

Em praticamente todas as faixas de porte dos municípios notam-se variações de grande amplitude nos valores do 95º percentil dos dados mensais de turbidez da água filtrada informados no SISAGUA (P95I) alcançados pelas respectivas ETAs, ou seja, grande heterogeneidade de desempenho das ETAs (Figura 4.11). Em todas as faixas populacionais é possível verificar que as 10% melhores ETAs apresentaram, consistentemente, dados de P95I abaixo de 0,3 uT, enquanto as 10% piores permaneceram na maior parte do período com P95I acima de 1,0 uT. A menor variabilidade é verificada entre as ETAs de municípios com mais de 500 mil habitantes. A evolução temporal mais nítida se deu nas ETAs dos municípios entre 100 e 500 mil habitantes, com clara diminuição da turbidez dos diferentes percentis ao longo do período. Porém, esta mesma faixa populacional apresentou os maiores percentuais de ETAs classificadas tanto entre as melhores (13,1%) como entre as piores ETAs (14,2%); exemplificando a heterogeneidade deste grupo (Tabela 4.4).

Em síntese, esses resultados confirmam a hipótese que há influência do porte dos municípios no atendimento ao padrão de turbidez. Entretanto, não se identificou dificuldade maior de atendimento por parte das ETAs de municípios de menor porte, como sugerido por alguns autores (ALLAIRE *et al.*, 2018; MARCILLO; KROMETIS, 2019; RUBIN, 2013). Contudo, merece atenção o baixo percentual de informação das ETAs nesta faixa populacional (37,6%).

O teste de tendência de Cox-Stuart (Tabela 4.8) indicou que não há evidências suficientes para dizer que houve melhoria para as ETAs localizadas em municípios com porte inferior a 5 mil habitantes ao longo do tempo. O mesmo pode ser lido para as ETAs localizadas em municípios de porte de 5 a 10 mil e de 50 a 100 mil habitantes para os valores de P95I $\leq 0,5$ uT e para $> 1,0$ uT. Ainda, para as ETAs de municípios com porte superior a 500 mil habitantes, não é possível afirmar que houve redução no percentual de ETAs com P95I $> 1,0$ uT. Para os demais casos, é possível dizer que houve aumento significativo no percentual de ETAs que atingiram os padrões de P95I $\leq 0,3$ uT e $\leq 0,5$ uT, além de redução significativa no percentual de ETAs com P95I $> 1,0$ uT.

Figura 4.10 – Distribuições de frequência por faixa de turbidez dos valores de P95I¹ em 2014, 2015, 2016 e 2017, por porte do município² e para o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria e do número de dados informados a cada ano/período.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - até 5.000 hab.(<5), de 5.000 a 10.000 hab.(5-10), de 10.000 a 20.000 hab.(10-20), de 20.000 a 50.000 hab.(20-50), de 50.000 a 100.000 hab.(50-100), de 100.000 a 500.000 hab.(100-500) e acima de 500.000 hab.(>500).

Tabela 4.8 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez por porte municipal.

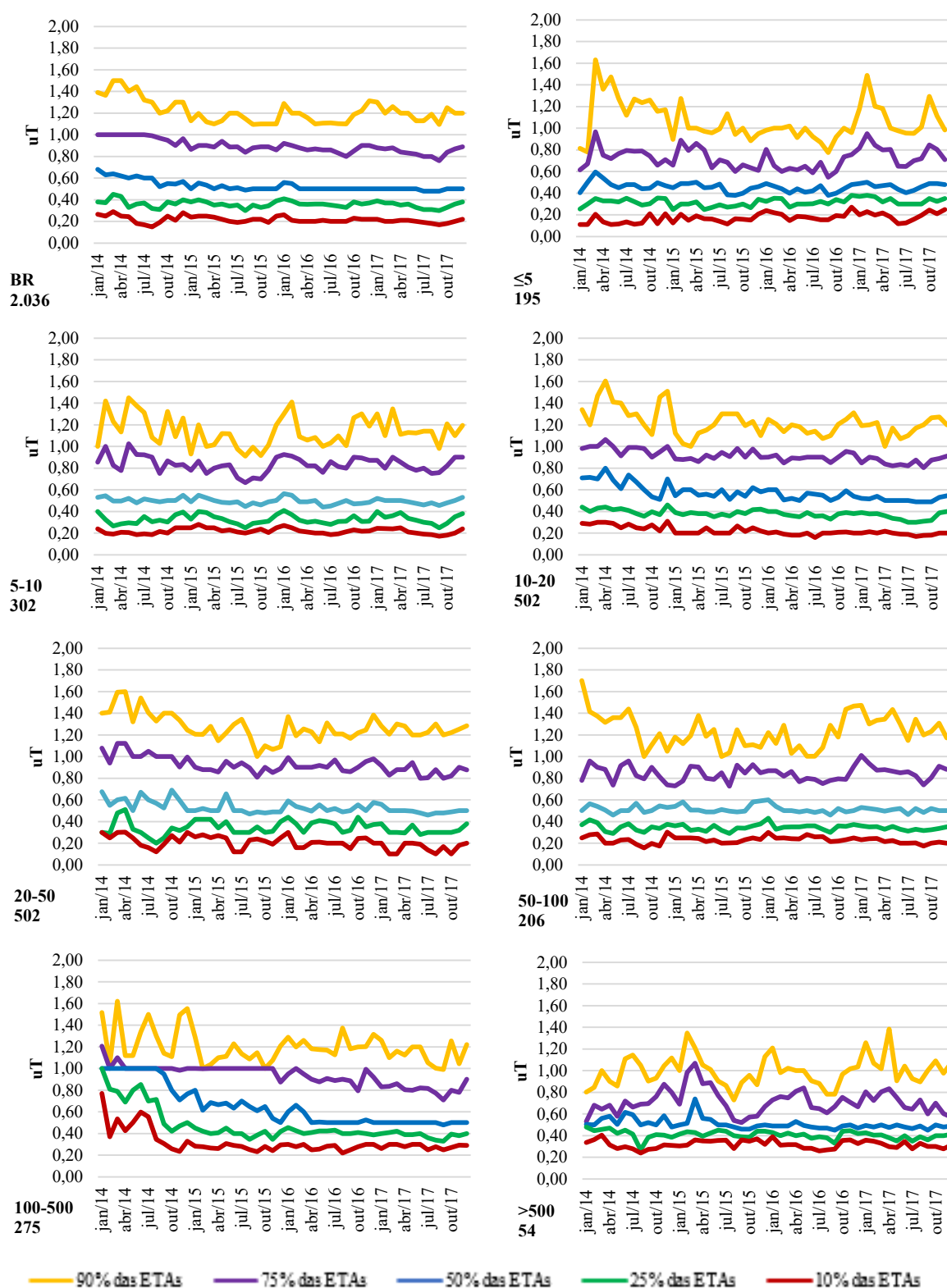
Porte Municipal (mil hab.)	P95I ¹ (uT)	Percentual de ETAs			p
		jan.2014	Média do período	dez.2017	
< 5	≤0,3	64,6%	55,6%	49,8%	0,9967
	≤0,5	90,3%	83,0%	77,9%	0,9680
	>1,0	2,1%	2,7%	3,2%	0,9992
5 – 10	≤0,3	43,2%	48,1%	45,4%	0,0004*
	≤0,5	73,8%	78,5%	77,5%	0,2706
	>1,0	3,1%	4,0%	4,3%	0,8463
10 - 20	≤0,3	39,7%	45,7%	51,3%	0,0004*
	≤0,5	72,7%	75,5%	79,8%	<0,0001***
	>1,0	3,5%	4,0%	3,6%	0,0033*
20 - 50	≤0,3	48,4%	50,7%	54,9%	0,0033*
	≤0,5	68,8%	77,9%	82,2%	<0,0001***
	>1,0	6,1%	4,6%	4,3%	0,0033*
50 - 100	≤0,3	43,5%	49,1%	52,6%	0,0003*
	≤0,5	72,1%	76,1%	75,3%	0,1537
	>1,0	6,9%	4,5%	4,8%	0,5806
100 - 500	≤0,3	16,3%	42,6%	53,9%	<0,0001***
	≤0,5	31,1%	67,7%	82,1%	<0,0001***
	>1,0	8,9%	4,8%	3,8%	0,0002*
> 500	≤0,3	51,3%	55,6%	57,7%	0,0033*
	≤0,5	91,5%	86,8%	90,9%	0,0113*
	>1,0	0,5%	1,7%	1,5%	0,8463

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

*0,01 ≤ p < 0,05; *** p < 0,0001

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente

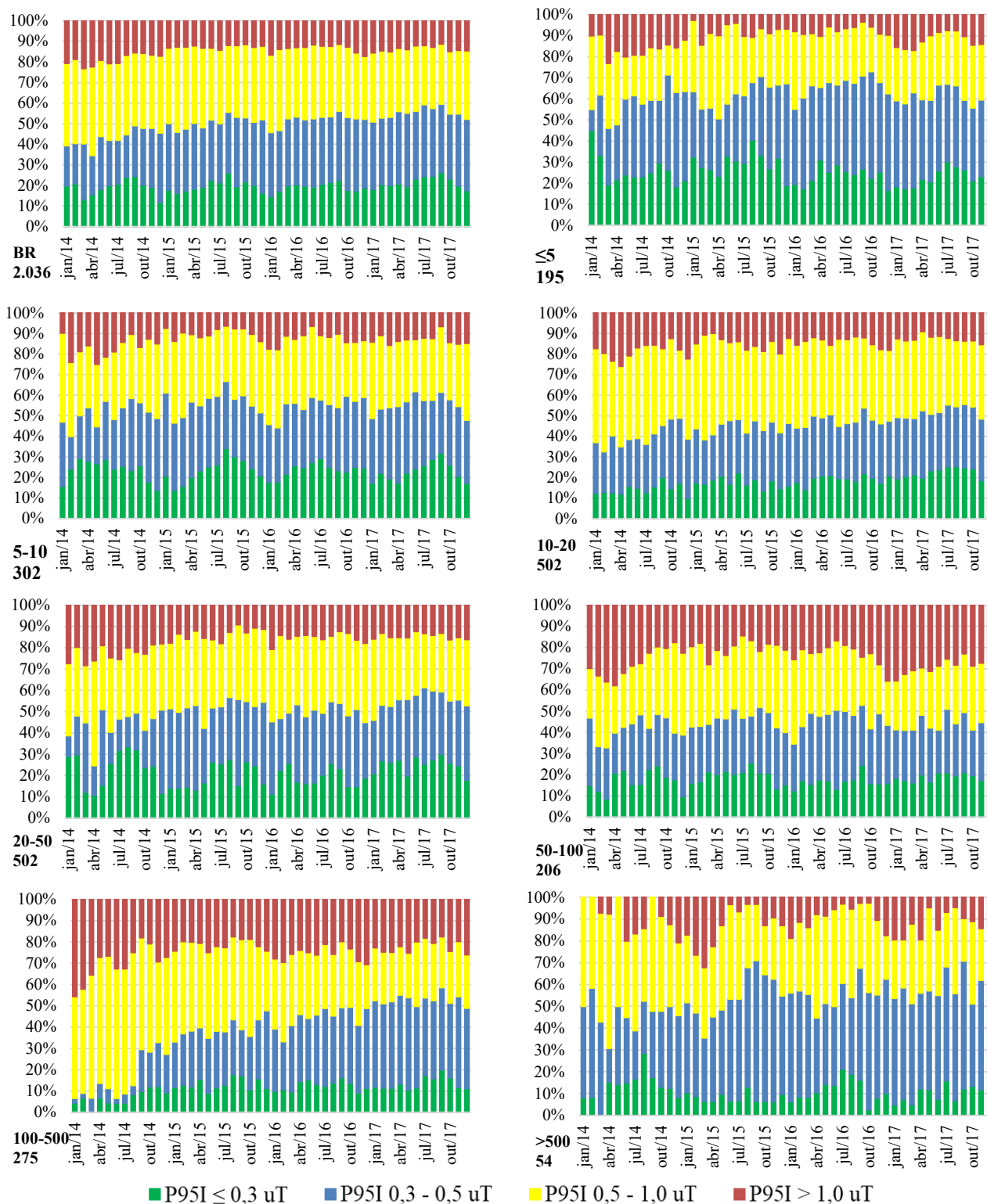
Figura 4.11 – Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores de P95I¹ de janeiro de 2014 a dezembro de 2017 por porte do município² e para todo o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - até 5.000 hab.(≤5), de 5.000 a 10.000 hab.(5-10), de 10.000 a 20.000 hab.(10-20), de 20.000 a 50.000 hab.(20-50), de 50.000 a 100.000 hab.(50-100), de 100.000 a 500.000 hab.(100-500) e acima de 500.000 hab.(>500).

Figura 4.12 – Percentuais de ETAs com P95I¹ abaixo dos limites de 0,3 uT; 0,5 uT e 1,0 uT e acima de 1,0uT, por porte do município² e para todo o Brasil (BR), dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, com indicação do número de ETAs em cada categoria.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - até 5.000 hab.(≤5), de 5.000 a 10.000 hab.(5-10), de 10.000 a 20.000 hab.(10-20), de 20.000 a 50.000 hab.(20-50), de 50.000 a 100.000 hab.(50-100), de 100.000 a 500.000 hab.(100-500) e acima de 500.000 hab.(>500).

4.2.4 Desempenho das ETAs por modelo de gestão

Na Figura 4.13, as informações circundadas em linhas negras representam os agrupamentos em que as medianas não podem ser consideradas diferentes entre si, segundo o teste de medianas de Mood, em termos de percentual de informação (número de meses informados em relação ao total de meses analisados - 48). As ETAs de empresas privadas (Epriv), as de sociedade de economia mista e administração privada (Spriv) e as de autarquias (Aut), formam o grupo com índices mais elevados de informação: 49,6%, 50,9% e 52,8%, respectivamente (Tabela 4.9 e Figura 4.13). Por outro lado, as ETAs geridas por administração pública direta (APD) e por sociedades de economia mista e administração pública (Spub) apresentaram os percentuais mais baixos 32,8 e 38,9% respectivamente, e se diferenciam significativamente ($p < 0,001$) dos demais modelos de gestão (Tabela 4.9, Figura 4.7 e Figura 4.13). Esse resultado pode ser consequência de menor capacidade técnica e gerencial instalada nos sistemas nas ETAs geridas por APD; eventualmente isso poderia explicar também a informação precária vinda das Spub, pois estas são representadas pelas CESBs, as quais tipicamente apresentam gestão muito centralizada na capital do estado e nem todas as companhias apresentam capacidade técnica-gerencial com capilaridade até suas várias ETAs distribuídas por todo o estado.

Cabe destaque para os baixos índices de informação nos seis primeiros meses de 2014 das ETAs em geral, mas principalmente das empresas privadas (Epriv) e de sociedade de economia mista e administração privada (Spriv), o que acabou por influenciar a análise destes modelos naquele ano (Figura 4.18 e Figura 4.19). Esse baixo índice de informação pode ter relação com a época de lançamento da nova versão do SISAGUA, em janeiro 2014.

Contudo, o teste de Cox-Stuart confirma tendência de aumento do percentual de ETAs com dados de turbidez (P95I) informados ao longo do período avaliado em todos os diferentes modelos de gestão (Tabela 4.10).

Tabela 4.9 - Resultados do teste de medianas de Mood do percentual de ETAs com valores de P95I¹ informados no SISAGUA (% informação), médias dos valores do P95I¹ (Média P95I), e percentual de ETAs que atenderam ao padrão de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais (%atendimento), janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por modelo de gestão².

Modelo de gestão ²	% Informação			Média P95I			% atendimento		
	Mediana	IC (95%)		Mediana	IC (95%)		Mediana	IC (95%)	
		Li	Ls		Li	Ls		Li	Ls
APD	21%	15%	35%	0,83	0,69	0,94	18%	0%	33%
Aut	56%	48%	67%	0,62	0,53	0,70	45%	33%	57%
Epriv	58%	48%	66%	0,50	0,48	0,54	75%	61%	87%
Spriv	60%	48%	66%	0,45	0,44	0,48	88%	78%	94%
Spub	31%	31%	35%	0,67	0,64	0,70	33%	28%	38%

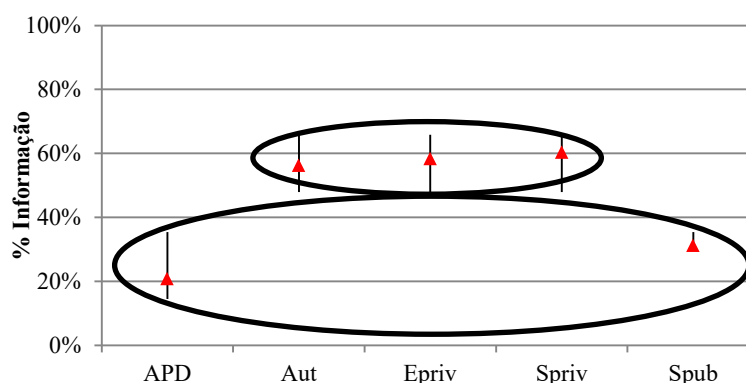
p < 0,001 < 0,001 < 0,001

IC (95%) – intervalo de confiança de 95%, Li - limite inferior; Ls – limite superior

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Figura 4.13 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos percentuais de informação prestados pelas ETAs ao SISAGUA (2014-2017) por modelo de gestão¹.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Tabela 4.10 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs com valores de P95I¹ informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por modelo de gestão².

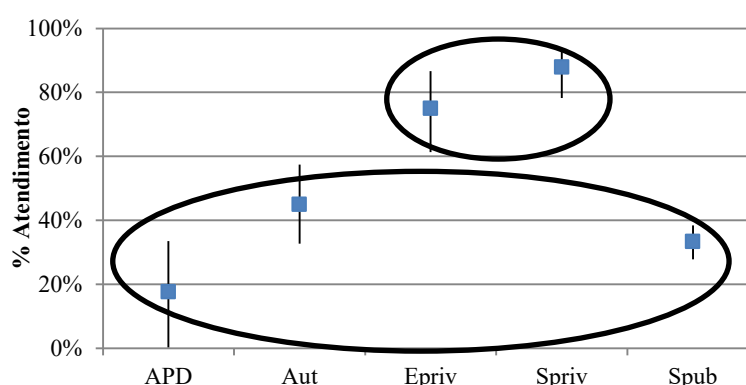
Modelo de Gestão	Percentual de ETAs			p
	jan.2014	Média do período	dez.2017	
APD	23,0%	32,0%	43,2%	<0,0001
Aut	25,4%	51,4%	59,4%	<0,0001
Epriv	10,1%	59,1%	73,6%	<0,0001
Spriv	0,6%	50,9%	77,0%	<0,0001
Spub	19,3%	38,5%	48,4%	<0,0001

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

O menor percentual de atendimento ao padrão de 0,5 uT em relação ao total de dados de P95I foi das ETAs com administração pública direta (APD), (37,6%), seguido pelas ETAs de sociedades de economia mista e administração pública (Spub) (46,6%) e ETAs de autarquias (Aut) (51,6%) (Tabela 4.4). Os índices de atendimento destes modelos de gestão apresentaram diferença significativa em relação aos das ETAs de empresas privadas (Epriv) (63,4%) e das de sociedade de economia mista e administração privada (Spriv) (75%) (agrupamentos representados na Figura 4.14 pelas circunscrições em linhas negras). Esses dois modelos de gestão (Epriv e Spriv) também apresentaram os maiores percentuais de unidades classificadas no grupo das melhores ETAs (ETAs com dados informados no SISAGUA por ao menos 12 meses e valores de P95I sempre menores ou iguais a 0,5 uT), com 24,8% (Spriv) e 14,5% (Epriv), bem como os menores percentuais de ETAs classificadas entre as piores: 3% (Spriv) e 8,3% (Epriv) (ETAs com dados informados no SISAGUA por ao menos 12 meses e valores de P95I sempre superiores a 0,5 uT).

Figura 4.14 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores de percentual de atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada de no máximo 0,5 uT em 95% dos dados mensais por modelo de gestão¹ das ETAs, dados do SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



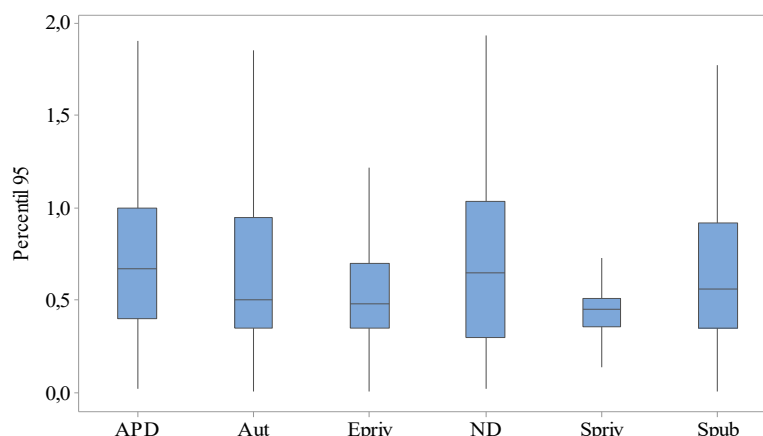
Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Em relação às médias dos valores de P95I, o teste de medianas de Mood revelou maior sobreposição entre os resultados dos diferentes modelos de gestão (Figura 4.15). As ETAs com administração pública direta (APD) não se diferenciaram estatisticamente das geridas por sociedades de economia mista com administração

pública (Spub) e das por autarquias (Aut). As ETAs de autarquias (Aut), por sua vez, também não se diferenciaram estatisticamente das de empresas privadas (Epriv) e, por fim, estas não diferiram estatisticamente das ETAs de sociedade de economia mista com administração privada (Spriv) (Figura 4.16).

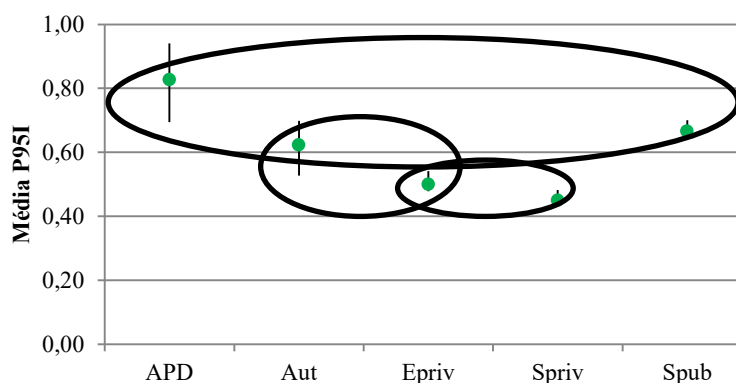
Figura 4.15 – Representação gráfica¹ da estatística descritiva dos valores do P95I² por modelo de gestão³, de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - Primeiro e terceiros quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos *box-plot*); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais). (2) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (3) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Figura 4.16 – Representação gráfica das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% dos valores do P95I¹ por modelo de gestão² das ETAs com dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Em uma avaliação visual da evolução temporal dos dados (Figura 4.17), ao se analisar os dados do Brasil como um todo se nota, em geral, ligeira queda dos valores de P95I ao longo do período analisado. Porém, ao se analisar os dados por modelo de gestão, isto se torna mais ou menos nítido dependendo do modelo em questão. Como no caso das ETAs com administração pública direta (APD) e as com modelo não definido, cujos comportamentos se apresentam de forma um tanto errática ao longo do tempo.

Em praticamente todos os modelos de gestão notam-se variações de grande amplitude nos valores do 95º percentil dos dados mensais de turbidez da água filtrada informados no SISAGUA (P95I) alcançados pelas respectivas ETAs, ou seja, grande heterogeneidade de desempenho das ETAs (Figura 4.17). Porém, as ETAs de sociedade de economia mista com administração privada (Spriv) compõem exceção clara a esta “regra”: apresentam desempenho menos desigual e, no todo, melhor, com menores discrepâncias entre as piores e as melhores ETAs ao longo do tempo. Neste grupo, as 10% piores ETAs permaneceram com P95I sempre abaixo de 1,0 uT, se aproximando de 0,6 uT ao final do período analisado. No outro extremo, as 10% melhores ETAs mantiveram, a partir do final de 2014, dados de P95I em torno de 0,2-0,3 uT. Cabe lembrar que todas estas ETAs são da mesma CESB, a SANEPAR. Nos demais modelos de gestão, as 10% piores permaneceram na maior parte do período com P95I acima de 1,0 uT, com destaque negativo para aquelas com APD, enquanto as 10% melhores ETAs também apresentaram, via de regra nos meses mais recentes, dados de P95I em torno de 0,2-0,3 uT.

Chama atenção, ao longo de todo o período, a permanência de altos percentuais de dados acima de 1,0 uT nas ETAs com administração pública direta (APD) e com sociedade de economia mista com administração pública (Spub), com as autarquias (Aut) logo a seguir. Por sua vez, estes eventos são mais raros nas ETAs de empresas privadas (Epriv) e de sociedade de economia mista com administração pública (Spriv). De forma similar, as ETAs das Spriv e de Epriv, nesta ordem, são as que menos frequentemente violam o padrão de 0,5 uT; neste mesmo quesito, na sequência vêm as ETAs de autarquias (Aut), de Spub (ou seja, as CESBs) e as com APD (Figura 4.18 e Figura 4.19).

Ao se analisar o atendimento ao padrão de 0,5 uT ano a ano, verifica-se que houve evolução positiva na frequência de atendimento ao longo do período analisado: diminuição do número de ETAs que atenderam ao padrão por poucos

meses, ou que não atenderam e, por outro lado, aumento do atendimento por um número maior de meses. Como exemplo, o percentual de ETAs com nenhum atendimento no ano de 2014 foi de 42%, contra 31% em 2017, enquanto o atendimento pelos 12 meses do ano passou de 8% em 2014 para 12% em 2017 (Figura 4.12).

A análise, ano a ano, dos dados de distribuição de frequência de ETAs pelo número de meses em que atenderam ao padrão 0,5 uT demonstram, em geral, melhora no atendimento ao longo do período: de forma mais acentuada nas ETAs das Spriv e das Epriv, seguidas pelas autarquias. Por outro lado, esta melhora é menos nítida nas Spub e praticamente inexistente no caso de APD. Entretanto, é de se notar a permanência até 2017 de elevados percentuais de não atendimento em nenhum ou em apenas poucos meses de um número considerável de ETAs em praticamente todos os modelos de gestão (à exceção das Spriv), com destaque negativo para as Spub e os casos de APD (Figura 4.20). Estas informações poderiam sugerir maiores esforços de melhorias nas ETAs de Spriv (de novo, todas da mesma CESB: SANEPAR) e nas empresas privadas (Epriv); indicam ainda algum esforço por parte das autarquias, mas muito pouco das Spub (as CESBs) e praticamente nenhum avanço nas ETAs geridas por administração municipal direta.

De acordo com teste de tendência de Cox-Stuart (Tabela 4.11) não há evidências suficientes para dizer que houve melhora no percentual de autarquias (Aut) que atendem aos valores de padrão de turbidez ao longo do período analisado. O mesmo pode ser lido para as ETAs de administração pública direta (APD) para $P95I \leq 0,5$ uT e $>1,0$ uT. Para as ETAs de sociedade de economia mista com administração privada (Spriv) não há evidências de redução do percentual de ETAs com $P95I >1,0$ uT. Para os demais casos, é possível dizer que houve aumento significativo no percentual de ETAs que atenderam aos padrões de $P95I \leq 0,3$ uT e $\leq 0,5$ uT, além de redução significativa do percentual de ETAs com $P95I >1,0$ uT.

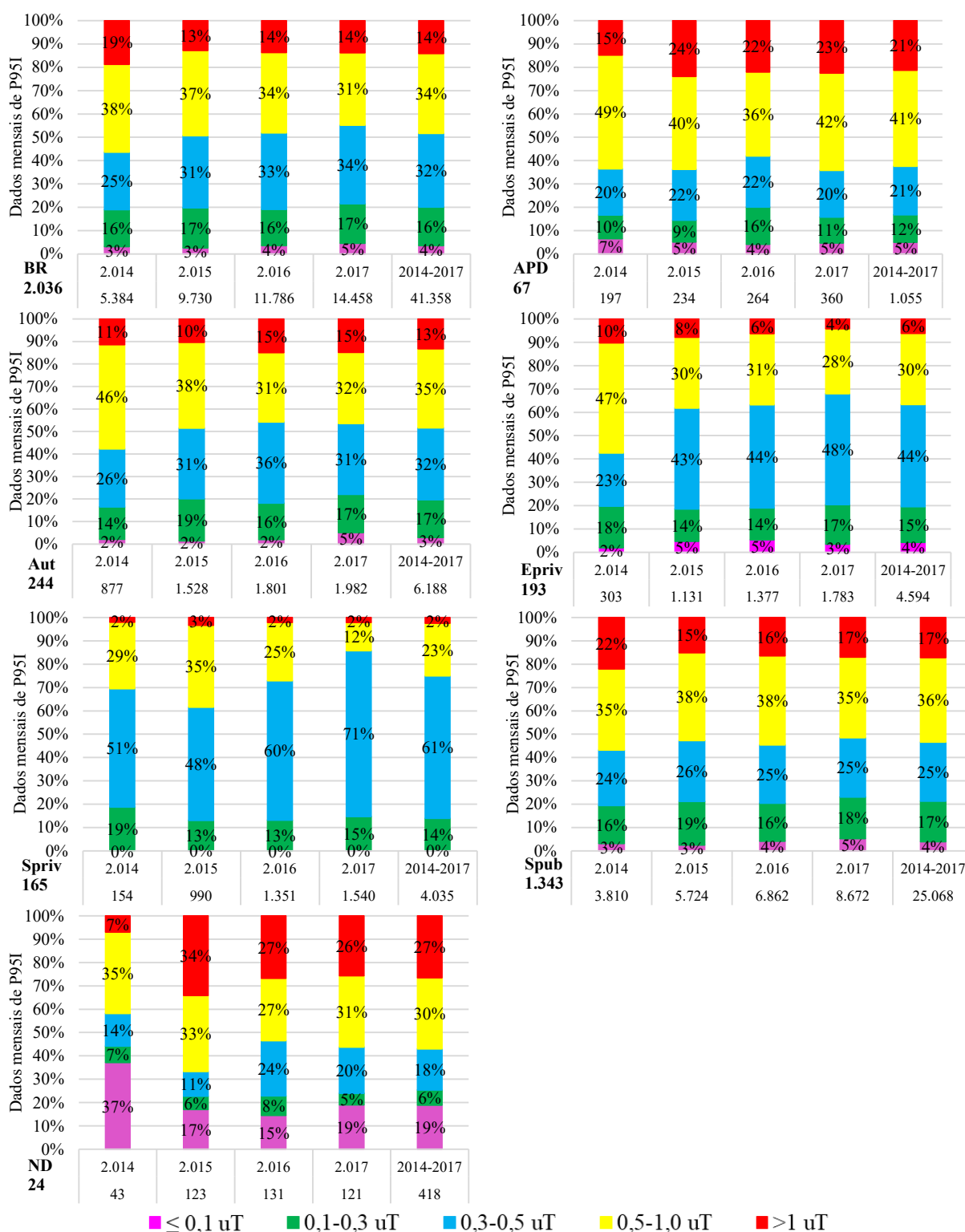
Figura 4.17 – Percentuais de ETAs e respectivas variações temporais dos valores do P95I¹ de janeiro de 2014 a dezembro de 2017 por modelo de gestão² e para todo o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada modelo de gestão.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

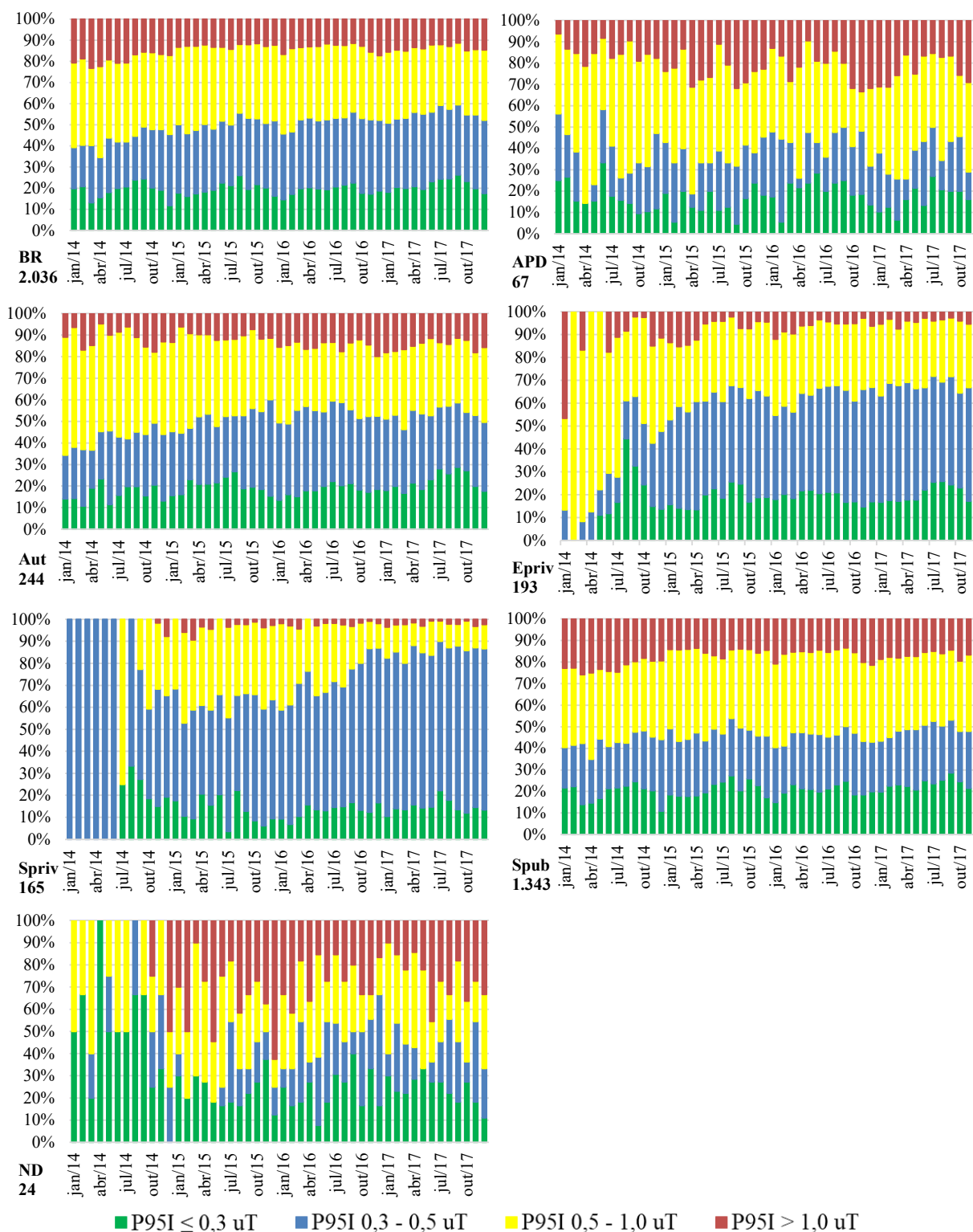
Figura 4.18 – Distribuições de frequência por faixa de turbidez dos valores do P95I¹ de 2014 a 2017, por modelo de gestão² e para o Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria e do número de dados informados a cada ano/período.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

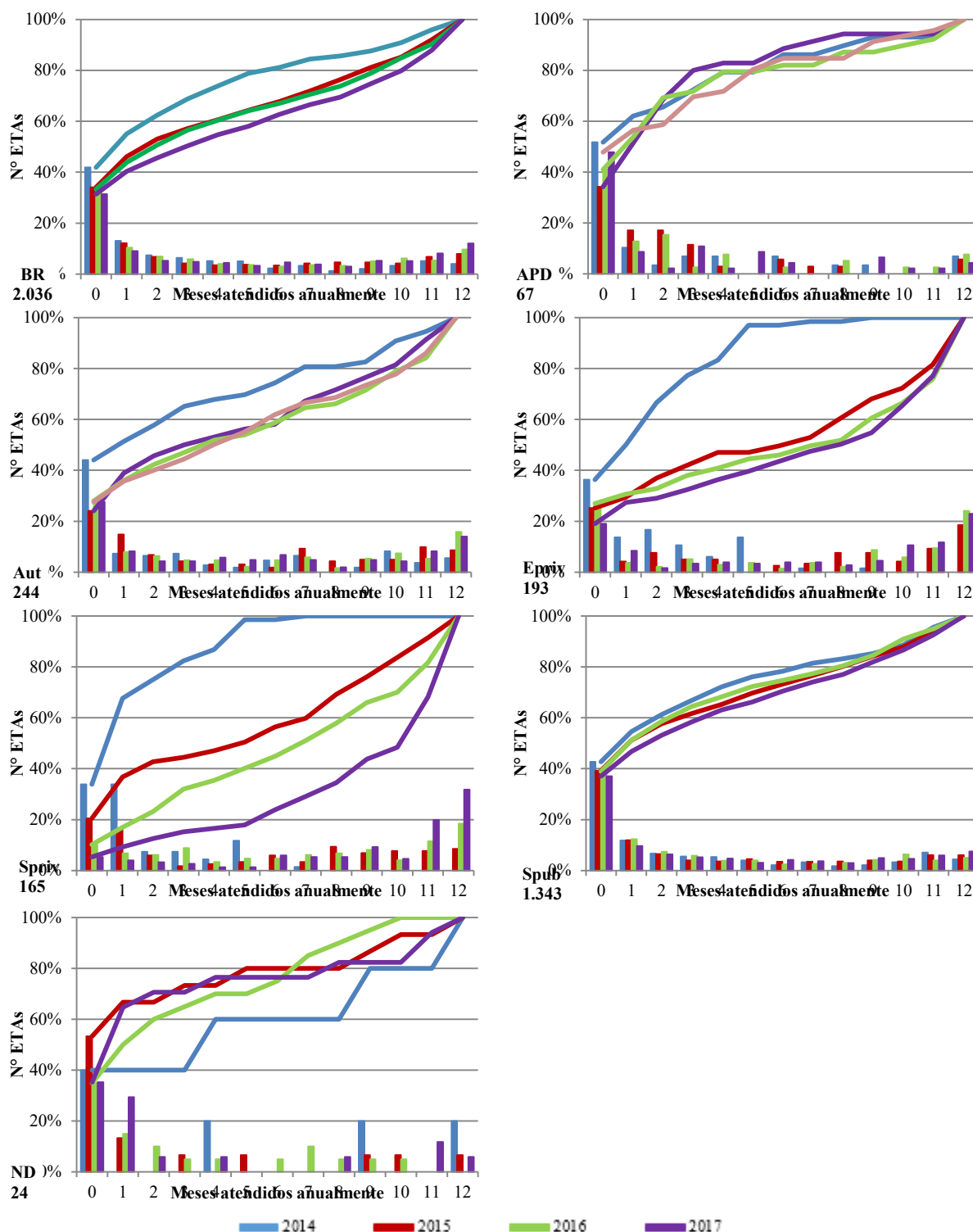
Figura 4.19 – Percentuais de ETAs com P95¹ abaixo dos limites de 0,3; 0,5; 1,0; acima de 1,0 uT, por modelo de gestão² e para todo o Brasil (BR), dados informados no SISAGUA de janeiro de 2014 a dezembro de 2017, com indicação do número de ETAs em cada categoria.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Figura 4.20 – Distribuição de frequência e frequência acumulada de ETAs que atenderam por determinado número de meses ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira ($P95I \leq 0,5$ uT), dados do SISAGUA relativos aos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 por modelo de gestão² e total do Brasil (BR), com indicação do número de ETAs em cada categoria.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) - Administração Pública Direta (APD); Autarquia (Aut); Empresa Privada (Epriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Privada (Spriv); Sociedade de Economia Mista com Administração Pública (Spub); Não Definido (ND).

Tabela 4.11 – Resultados do teste de tendência de Cox-Stuart para avaliação da evolução do percentual mensal de ETAs que atendem diferentes valores de padrões de turbidez, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, por modelo de gestão.

Modelo de gestão	P95I ¹ (uT)	Percentual de ETAs			p
		jan.2014	Média do período	dez.2017	
Administração Pública Direta	≤0,3	29,0%	38,4%	80,2%	0,0033*
	≤0,5	75,6%	65,0%	85,0%	0,0758
	>1,0	8,0%	8,8%	0,0%	0,8463
Autarquia	≤0,3	52,3%	59,9%	90,1%	0,9242
	≤0,5	80,9%	85,9%	97,7%	0,4194
	>1,0	3,8%	3,5%	0,3%	0,7294
Empresa Privada	≤0,3	21,3%	51,5%	79,6%	<0,0001***
	≤0,5	65,3%	84,7%	95,6%	<0,0001***
	>1,0	8,9%	1,6%	0,6%	0,0008*
Soc. de econ. mista com adm. privada	≤0,3	68,1%	61,7%	97,2%	0,0392*
	≤0,5	95,7%	94,1%	99,8%	0,0007*
	>1,0	0,2%	0,5%	0,0%	0,3318
Soc. de econ. mista com adm. pública	≤0,3	41,6%	45,0%	50,5%	<0,0001***
	≤0,5	65,0%	72,1%	80,0%	<0,0001***
	>1,0	5,2%	4,7%	4,0%	0,0113*

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

*0,01 ≤ p < 0,05; ***p < 0,0001.

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

4.2.5 Análise multivariada dos dados do SISAGUA

O modelo de regressão logística testado para as 2.036 ETAs com as variáveis modelo de gestão, porte municipal e macrorregião é apresentado na Tabela 4.12. O modelo 4B apresentou o melhor ajuste (menor AIC - Critério de Informação de Akaike, ver item 1.5.6).

Para cada variável (modelo de gestão, porte municipal e macrorregião) foram selecionadas como referências as categorias com maior número de ETAs: Sudeste, Municípios entre 10 e 20 mil habitantes e Sociedades de Economia Mista com Administração Pública (SPub). O modelo de regressão logística estimou a chance de ocorrência dos valores médios de turbidez (P95I), entre ETAs com uma determinada característica, de uma determinada categoria, comparado a ETAs que não possuem aquela dada característica, da categoria de referência. A essa chance da média dos valores de turbidez (P95I) de determinada categoria em relação à categoria de referência dá-se o nome de razões de chance (*odds ratio* – OR). Na Tabela 4.12 são apresentadas também as razões de chance ajustadas (*odds ratio* ajustadas – OR aj.) pelo modelo completo e reduzido e seus respectivos intervalos de 95% de confiança (IC 95%). O modelo completo (4A), apresenta todas as variáveis, mesmo

não sendo significativas, enquanto o modelo reduzido (4B) apresenta apenas as variáveis explicativas com associação significativa para o desfecho.

As associações estatisticamente significativas ao nível de 5% foram:

- ETAs situadas nas macrorregiões Centro-oeste e Nordeste possuem, respectivamente, chances de apresentar turbidez média da ordem de 2,53 e 7,43 vezes maior que a turbidez média de uma ETA situada na macrorregião de referência, Sudeste.
- As ETAs com modelo de gestão por sociedade de economia mista com administração privada (Spriv) apresentaram turbidez média da ordem de 0,22 vezes (4,5 vezes menor) que a turbidez média das ETAs com o modelo de gestão de referência, sociedade de economia mista com administração pública (Spub).

Assim, a análise multivariada, acabou por identificar um menor número de variáveis significativas em comparação com as análises univariadas. Por exemplo, a variação do porte municipal de onde a ETA está localizada não demonstrou influência significativa na turbidez.

Tabela 4.12 - Modelo de regressão logística para associação de características das ETAs com o valor médio de turbidez (P95¹).

Variáveis	n (%)	OR	IC 95%	Modelo 4A		Modelo 4B	
				OR aj.	IC 95%	OR aj.	IC 95%
Macrorregião							
Norte	73 (3,59%)	0,52	0,29; 1,00	0,65	0,33; 1,35	0,66	0,34; 1,34
Nordeste	444 (21,81%)	7,66	3,79; 18,32	7,24	3,54; 17,44*	7,43	3,66; 17,84*
Sudeste	914 (44,89%)	1,00	ref.	1,00	ref.	1,00	ref.
Sul	420 (20,63%)	0,76	0,54; 1,08	1,64	0,98; 2,91	1,63	0,98; 2,88
Centro-Oeste	185 (9,09%)	2,36	1,24; 5,11	2,60	1,32; 5,76*	2,53	1,31; 5,53*
Porte Municipal							
<5	195 (9,58%)	0,64	0,38; 1,13	0,66	0,37; 1,18		
5-10	302 (14,83%)	0,92	0,55; 1,55	1,00	0,59; 1,71		
10-20	503 (24,71%)	1,00	ref.	1,00	ref.		
20-50	502 (24,66%)	0,97	0,62; 1,54	0,86	0,54; 1,38		
50-100	205 (10,07%)	1,03	0,58; 1,94	0,98	0,53; 1,88		
100-500	275 (13,51%)	0,58	0,36; 0,94	0,68	0,40; 1,14		
>500	54 (2,65%)	0,7	0,30; 1,91	0,76	0,31; 2,16		
Modelo de Gestão							
Spub	1367 (68%)	1,00	ref.	1,00	ref.	1,00	ref.
Spriv	165 (8,20%)	0,23	0,15; 0,34	0,22	0,11; 0,40*	0,22	0,12; 0,41*
Epriv	148 (7,36%)	0,41	0,25; 0,68	0,64	0,36; 1,16	0,59	0,35; 1,04
Aut	256 (12,74%)	0,69	0,44; 1,12	1,04	0,63; 1,75	0,96	0,60; 1,58
APD	74 (3,70%)	1,77	0,64; 7,31	2,18	0,78; 9,09	2,18	0,78; 9,04
AIC				1167,44		1159,76	

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

¹- 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017. *- Variável significativa (IC <>1,00).

A Tabela 4.13 apresenta o percentual de variância e o percentual de variância acumulada que são explicados por cada dimensão da análise de componentes principais, que faz parte da análise de correspondência múltipla. A análise de correspondentes múltiplos (ACM) permite analisar as inter-relações entre as variáveis de interesse e o atendimento, ou não, do padrão de turbidez ($P95I \leq 0,5$ uT). É possível analisar as variáveis com maior relevância para a formação de agrupamentos considerando o efeito conjunto das variáveis utilizadas. De modo geral, espera-se que ETAs que atenderam ao padrão de turbidez apresentem características mais semelhantes entre si quando comparadas com ETAs que não atenderam ao padrão de turbidez.

Verificou-se que o percentual acumulado da variância explicada das duas primeiras dimensões é de aproximadamente 19%.

Apesar do baixo valor de explicação da variância dos dados por parte das variáveis analisadas, apenas 19%, sendo portanto, os outros 81% explicados por variáveis não mensuradas nessa análise, algumas informações da Análise de Correspondência Múltipla (ACM) podem ser relevantes (Figura 4.21).

Em linhas gerais, as categorias que se afastam do ponto (0,0) horizontalmente (Dimensão 1) em sentido à direita e verticalmente (Dimensão 2) na porção superior do gráfico apresentam características que influenciam favoravelmente no atendimento ao padrão de turbidez, enquanto aquelas categorias ao lado esquerdo e na porção inferior, desfavorecem. Como esperado, as ETAs que atenderam mensalmente ao padrão de turbidez apresentaram características distintas daquelas que não atenderam; isso fica evidente ao se observar que as categorias “Sim” (ETAs com $P95I \leq 0,5$ uT) e “Não” (ETAs $P95I > 0,5$ uT) estão em lados opostos do gráfico (Figura 4.21).

Nesta análise chama atenção o agrupamento de ETAs da macrorregião Sul e de modelo de gestão do tipo sociedade de economia mista com administração privada (Spriv), todas da SANEPAR, localizada no Paraná, estado pertencente à macrorregião Sul. Estes foram os fatores que demonstraram ser os mais favoráveis ao atendimento ao padrão de turbidez.

Outro agrupamento que chama atenção são as ETAs da macrorregião Norte e com modelo de gestão de Empresa Privada (Epriv), favoráveis numa dimensão (Dim. 1 - horizontal) e desfavoráveis em outra (Dim. 2 - vertical). Esses fatores

também foram identificados nas análises univariadas, mas não foram considerados como de influência significativa (a 5%) pela análise de regressão logística.

A falta de informação sobre o modelo de gestão (TipoAdmCod. NA) se mostrou como o fator que mais desfavoreceu o atendimento ao padrão de turbidez. Falta de informação que pode indicar falta de zelo no envio de informações oficiais, eventualmente relacionada à alguma desorganização interna desses serviços. Essa variável (TipoAdmCod. NA) não foi analisada na regressão logística por não ser um modelo de gestão.

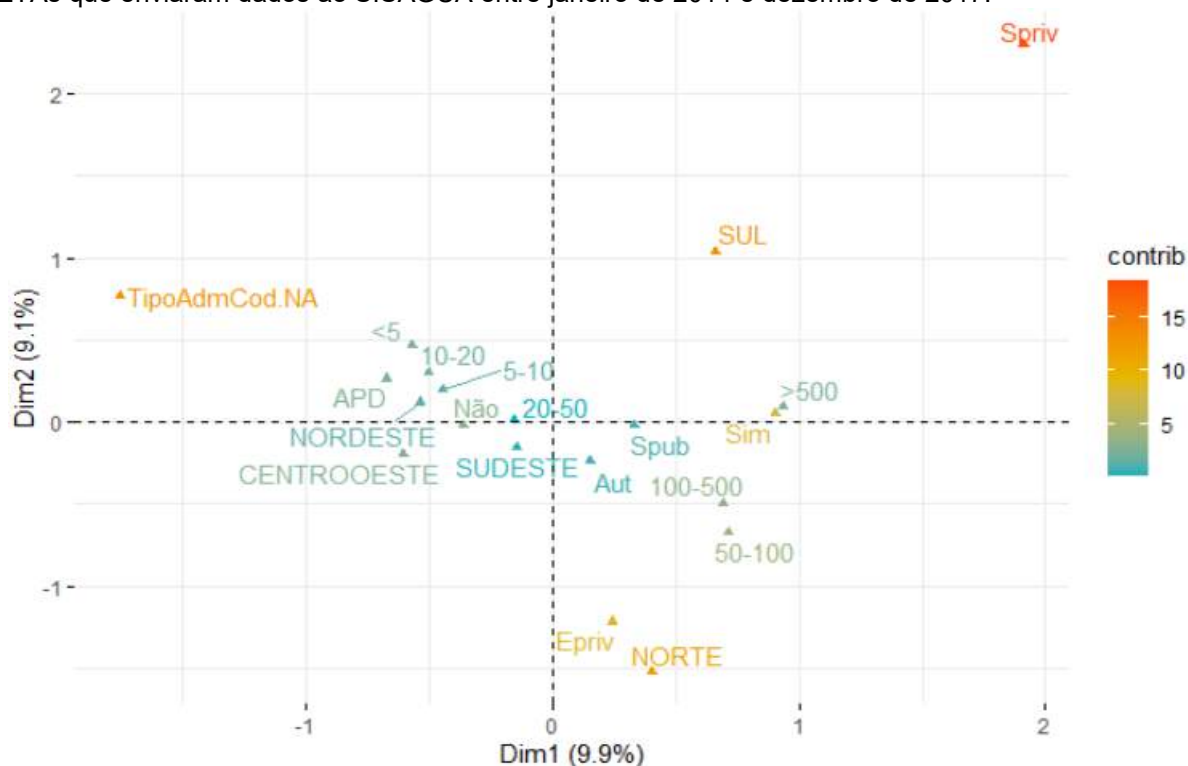
Tabela 4.13 - Análise de componentes principais da análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I¹) das ETAs que enviaram dados ao SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.

Dimensões	Autovetores	% da Variância	% acumulado da variância
Dim. 1	0,3969	9,92	9,92
Dim. 2	0,3629	9,07	19,00
Dim. 3	0,3343	8,36	27,35
Dim. 4	0,2900	7,25	34,60
Dim. 5	0,2837	7,09	41,69
Dim. 6	0,2702	6,75	48,45
Dim. 7	0,2651	6,63	55,07
Dim. 8	0,2568	6,42	61,49
Dim. 9	0,2458	6,14	67,64
Dim. 10	0,2406	6,02	73,65
Dim. 11	0,2295	5,74	79,39
Dim. 12	0,2118	5,30	84,69
Dim. 13	0,1939	4,85	89,54
Dim. 14	0,1520	3,80	93,34
Dim. 15	0,1456	3,64	96,98
Dim. 16	0,1210	3,02	100,00

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

¹- 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.

Figura 4.21 – Análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I¹) das ETAs que enviaram dados ao SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA.

4.3 Conclusões

Os resultados das análises univariadas sugeriram que há diferenças na turbidez da água filtrada de acordo com o modelo de gestão das ETAs e com o porte do município em que se encontram, o que não foi confirmado pelas análises multivariadas.

Com base em análises univariadas, o porte do município não influenciou linearmente o índice de atendimento ao padrão de 0,5 uT. Porém, foi verificado viés positivo do percentual de atendimento ao valor limite de 0,5 uT nas ETAs dos menores e dos maiores municípios, com menos de 10 mil e mais de 500 mil habitantes. Entretanto, o porte do município onde estão localizadas as ETAs, ao ser analisada conjuntamente com a localização macrorregional e o modelo de gestão (por meio de análise multivariada), não se mostrou variável influente na turbidez da água filtrada.

Ainda nas análises univariadas, os grupos de ETAs de sociedade de economia mista com administração privada (todas da SANEPAR) e de empresas privadas apresentaram os melhores índices de atendimento ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira, bem como os valores mais baixos de turbidez de água filtrada. Por outro lado, as análises multivariadas confirmaram que apenas as ETAs de sociedade de economia mista com administração privada - Spriv (todas da SANEPAR) se destacaram com os melhores índices de atendimento ao padrão de turbidez de água filtrada da norma brasileira. Esse modelo de gestão foi o único a se diferenciar significativamente da categoria de referência, sociedade de economia mista com administração pública (Spub) pela análise de regressão logística. Contudo, como já referido, a SANEPAR pode ser considerada um caso especial, pois é uma CESB que abriu seu capital para participação privada em 2002 e hoje o estado do Paraná possui apenas 20% do capital total, mas em contrapartida, responde por 60% do capital votante; ou seja, mantém um forte componente de gestão pública. Além disso, outros estudos revelam que o bom desempenho da SANEPAR não é de hoje (Cabral *et al.*, 2018), isto é, não seria o modelo atual em si o que explica os resultados atuais alcançados pela empresa.

Por fim, as análises multivariadas realizadas neste capítulo demonstraram que o porte municipal, o modelo de gestão dos serviços e a localização macrorregional da ETA explicaram apenas 19% da variância do valor do percentil 95 da turbidez da água filtrada em ETAs com filtração rápida com informações no SIAGUA entre 2014 e 2017.

4.4 Referências

ABCON. **Panorama da participação privada no saneamento**, 2015. Disponível em: <http://abconsindcon.com.br/publicacoes/panorama-da-participacao-privada-no-saneamento0212.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2019

ALLAIRE, M.; WU, H.; LALL, U. National trends in drinking water quality violations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 115, n.9, p. 2078–2083. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1719805115>. Acesso em: 5 jun. 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água**, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>. Acesso em: 25 jan. 2018.

BASTOS, R.K.X. **Oportunidades e desafios para os prestadores municipais de serviços de saneamento básico**. In: Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). Prestação dos serviços públicos de saneamento básico / coord. Berenice de Souza Cordeiro. Brasília: Editora do Ministério das Cidades. p. 559-570 (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços público; v.3). 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Anexo XX da Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde** [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília (DF), Suplemento:360-568. 2017. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 5 ago. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Aplicativo Série Histórica**. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 15 ago. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de Saneamento Básico VERSÃO REVISADA-2019**. 07/03/2019.Brasília. 2019. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/Ver-saoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf. Acesso em: 5 ago. 2019.

BRITTO, A. L. **Estudo Proposições para acelerar o avanço da política de saneamento no Brasil: Tendências atuais e visão dos agentes do setor**. In: HELLER, L. (org.) Saneamento como política pública: um olhar a partir dos desafios do SUS. Rio de Janeiro: Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz / Fiocruz, p. 53-104. 2018.

CABRAL, L. S. L.; RODRIGUES, E. C.; FONSECA, A. Privatizar ou não privatizar? Uma análise longitudinal dos serviços de abastecimento de água no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.** [online]. vol.23, n.4, p.811-822.. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018166181>. Acesso em: 15 jan.2019

CARVALHO, P.; PEDRO, I.; CUNHA MARQUES, R. The most efficient clusters of Brazilian water companies. **Water Policy**. v. 17, n. 5, p. 902–917. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wp.2015.148>. Acesso em: 12 fev. 2019.

CLARKE G. R. G.; KOSEC K.; WALLSTEN S. Has private participation in water and sewerage improved coverage? Empirical evidence from Latin America. **World Bank Policy Research Working Paper** No. 3445. Washington, DC: World Bank. 2004. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/13898> 2004. Acesso em: 22 jul. 2019

COSTA, A. M. **Análise histórica do saneamento no Brasil**. 1994, 164 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro. 1994.

CUNHA, A. S. **Saneamento básico no Brasil: desenho institucional e desafios federativos**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, (Texto para discussão 1565). 2011. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1565.pdf. Acesso em: 3 de jun. 2019.

FARIA, R. C.; FARIA, S. A.; MOREIRA, T. B. S. A privatização no setor de saneamento tem melhorado a performance dos serviços? **Planejamento e políticas públicas**, v. 28. 2005.

FERRO G. LENTINI E. J. MERCADIER A. C. ROMERO C. A. Efficiency in Brazil's water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators . **UtilitiesPolicy** v. 28 , p. 42 – 51 . 2014.

OLIVEIRA, F.; ALTAFIN, I.; SOUZA, R.F.; FREITAS, R. **Efetividade dos investimentos em saneamento no Brasil, da disponibilidade dos recursos financeiros à implantação dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura. Fundação Getúlio Vargas. 2016

HELLER, L.; COUTINHO, M. L.; MINGOTI, S.A. Diferentes modelos de gestão de serviços de saneamento produzem os mesmos resultados? Um estudo comparativo em Minas Gerais com base em indicadores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 325-336, 2006.

HELLER, P. G. B.; NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L.; MINGOTI, S. A. Desempenho dos diferentes modelos institucionais de prestação dos serviços públicos de abastecimento de água: uma avaliação comparativa no conjunto dos municípios brasileiros. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 333-342, 2012.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X. ; HELLER, P. G. B.; TEIXEIRA, J. C.. **A experiência brasileira na organização dos serviços de saneamento básico**. In: Heller, L; Castro, J. E. (Org.). Política pública e gestão de serviços de saneamento. 1ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 483-501, 2013.

HELLER, L. **Saneamento no Brasil: outro mundo é possível e desejável**. In: Heller, L. (org.) Saneamento como política pública: um olhar a partir dos desafios do

SUS. Rio de Janeiro: Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz. Fiocruz, p. 133-143. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 2010. 219p.

LYON, T. P.; MONTGOMERY, A. W.; ZHAO, D. A Change Would Do You Good: Privatization, Municipalization, and Drinking Water Quality. **Proceedings**, 2017, Disponível em: <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2017.19>. Acesso em: 3 mar. 2019.

MARCILLO, C. E.; KROMETIS, L.-A. H. Small towns, big challenges: Does rurality influence Safe Drinking Water Act compliance? **AWWA Water Science**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. e1120, 2019.

MENICUCCI, T.; D'ALBUQUERQUE, R. Política de saneamento vis-à-vis à política de saúde: encontros, desencontros e seus efeitos. . In: Heller, L. (org.) **Saneamento como política pública: um olhar a partir dos desafios do SUS**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz. Fiocruz, p. 9- 52, 2018.

MONTGOMERY, A.; LYON, T.; ZHAO, D. "Not a Drop to Drink? Drinking Water Quality, System Ownership, and Stakeholder Attention", In: BRISCOE, F.; KING, B.; LEITZINGER, J. (Ed.) **Social Movements, Stakeholders and Non-Market Strategy** (Research in the Sociology of Organizations, Vol. 56), Emerald Publishing Limited, p. 207-245. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/S0733-558X20180000056009>. Acesso em: 2 jun. 2019.

MOTTA R. S.; MOREIRA A. Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil . **UtilitiesPolicy** . v. 14, p.185 – 195. 2006.

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 WaterSupply Res Technol– AQUA**, v. 58, p.476–487, 2009.

RAHMAN, T.; KOHLI, M.; MEGDAL, S.; ARADHYULA, S.; MOXLEY, J. Determinants of environmental noncompliance by public water systems. **Contemporary Economic Policy**, v. 28, p. 264-274. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1465-7287.2009.00150.x>. Acesso em: 3 ago. 2019.

REZENDE, S. **Aspectos demográficos da cobertura de serviços de saneamento no Brasil urbano contemporâneo**. 2005. 153f. Tese (doutorado em Demografia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional) – Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

REZENDE, S.; WAJNMAN, S.; CARVALHO, J. A. M.; HELLER, L. Integrando oferta e demanda de serviços de saneamento: análise hierárquica do panorama urbano brasileiro no ano 2000. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 90-101, 2007.

RUBIN, S. J. Evaluating violations of drinking water regulations. Journal - **American Water Works Association**, v. 105, n. 3, p. 51–52, 2013.

SCRIPTORE, S. J.; TONETO JÚNIOR, R., A estrutura de provisão dos serviços de saneamento básico no Brasil: uma análise comparativa do desempenho dos provedores públicos e privados. **Revista de Administração Pública - RAP** [online] 2012, vol. 46, núm. 6 (Janeiro-Dezembro, 2012) pp. 1479-1504. Disponível em: <http://148.215.2.10/articulo.oa?id=241024817004>. Acesso em: 11 fev. 2019

SOUZA G.; FARIA F.; MOREIRA T. Estimating the relative efficiency of Brazilian publicly and privately owned water utilities: a stochastic cost frontier approach . **Journal of the American Water Resources Association**. v. 43 , p. 1237 – 1244. 2007.

SOUZA G. S.; FARIA R. C.; MOREIRA T. B. S. Efficiency of Brazilian public and private water utilities. **Estudos Econômicos** (São Paulo). v. 38 , p. 905 – 917. 2008.

WALLSTEN, S.; KOSEC, K. The effects of ownership and benchmark competition: An empirical analysis of U.S. water systems. **International Journal of Industrial Organization**, v. 26, n.1, p. 186–205. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2006.11.001>. Acesso em: 3 mai. 2019.

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE FATORES TÉCNICOS E OPERACIONAIS INTERVENIENTES NA TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA EM ETAs SUPRIDAS POR MANANCIAL SUPERFICIAL

5.1 Introdução

Como a etapa de filtração é, em geral, a última etapa do tratamento da água para a remoção de partículas em suspensão, a turbidez da água filtrada é entendida, em várias normas de potabilidade, como um indicador da remoção de protozoários, com o estabelecimento de valores máximos permitidos (VMP) tão baixos quanto 0,5 uT ou 0,3 uT (BASTOS *et al.* 2009; WHO, 2017a, 2017b).

No Brasil, o padrão de turbidez da água filtrada (filtração rápida - tratamento completo ou filtração direta) foi reduzido de 1,0 uT na Portaria 518/2004 (BRASIL, 2005) para 0,5 uT (em 95% das amostras e no máximo 1,0 uT no restante das amostras medidas ao longo de um mês) na Portaria 2914/2011; contudo, com vistas ao controle de *Cryptosporidium* há recomendações que se alcance meta mais rigorosa: 0,3 uT (BRASIL, 2011). Nas ETAs de filtração lenta o padrão de turbidez é de até 1,0 uT em 95% das amostras e no máximo 2,0 uT no restante das amostras medidas ao longo de um mês. Estes padrões permaneceram inalterados na reedição da norma em 2017 (BRASIL, 2017).

A turbidez da água filtrada, como medida indireta de sólidos suspensos presentes na água, pode ser influenciada por muitas variáveis, cabendo notar que o sucesso da filtração depende do desempenho não somente da filtração em si, mas também da série de etapas anteriores de tratamento: coagulação, floculação e decantação. Neste sentido, Oliveira (2014a) chama atenção para o grande número de variáveis de projeto e operacionais que constam na Norma Técnica NBR 12.216 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público (ABNT, 1992), sendo dez referentes à mistura rápida, dez à floculação, trinta à decantação e vinte seis à filtração rápida que, em tese, poderiam influenciar na turbidez da água filtrada.

A técnica de tratamento de água empregada pode também influenciar a turbidez da água filtrada. As técnicas de tratamento de água mais comuns no Brasil, podem ser resumidas em duas categorias, diferenciadas pelo tipo de filtração: (i)

filtração lenta; e (ii) filtração rápida, incluindo a filtração direta e o tratamento convencional ou ciclo completo (BRASIL, 2006). Estes dois grupos se diferenciam ainda quanto à utilização de coagulante, não necessário no primeiro grupo e utilizado no segundo.

O objetivo principal dessas técnicas de tratamento é a clarificação da água (remoção de cor e turbidez); porém, pelo fato dos cistos de protozoários apresentarem algumas características similares às de partículas em suspensão ou de colóides (por exemplo, tamanho e carga elétrica superficial) são também removidos com os processos de condicionamento químico água (coagulação) e demais etapas de tratamento: floculação, decantação ou flotação e filtração (LECHEVALLIER e AU, 2004).

No Brasil a técnica de tratamento de água mais aplicada é a de ciclo completo, presente em 2.817 municípios e respondendo por aproximadamente 69% do volume de água tratada e distribuída por rede geral (IBGE, 2010). O tratamento convencional da água tem se mostrado eficiente na remoção de protozoários. LeChevallier e Au (2004) afirmam que a maior parte dos casos de cryptosporidiose de origem hídrica é associada a problemas operacionais das ETAs e não a deficiências inerentes à técnica de tratamento.

Beaudeau (2018), em revisão de literatura incluindo 18 estudos, analisou 23 variáveis influentes na incidência de doenças gastrointestinais agudas relacionadas ao tratamento de água, destacando: a turbidez da água tratada, mudanças qualitativas no tratamento (adoção de etapas de decantação e ozonização), vazão do rio, temperatura da água de abastecimento e vazão de tratamento.

Consonery *et al.*, 1997 avaliaram 290 ETAs do estado da Pensilvânia/EUA no âmbito do projeto *Filter Plant Performance Evaluation* (FPPE/DEP). Além da qualidade da água tratada, analisaram também a qualidade da água bruta, a operação dos sistemas e o equipamento de medição da turbidez. Os dez maiores problemas detectados foram: (i) realização inadequada dos ensaios de *Jar Test* ou de outro controle na etapa de coagulação; (ii) mistura rápida inadequada; (iii) ausência de monitoramento individual dos filtros; (iv) inadequação ou falta de controle da primeira água filtrada após a lavagem; (v) turbidímetros não calibrados; (vi) dosagem de coagulantes inadequada; (vii) formação inadequada dos operadores do sistema; (viii) início de operação com filtros ainda sujos; (ix) processo de monitoramento inadequado; (x) tempo de operação utilizado como único critério para

definição do momento de iniciar a lavagem de um filtro. Concluiu-se que a turbidez da água filtrada $< 0,1$ uT foi a melhor garantia de um ótimo nível de desempenho da unidade de tratamento.

Em outro estudo no âmbito do projeto FPPE/DEP, Lusardi e Consonery (1999) avaliaram a capacidade de remoção de bactérias, vírus e protozoários de 75 ETAs com filtração rápida do estado da Pensilvânia/EUA. A avaliação foi desenvolvida com base nas seguintes variáveis: tipo de manancial, tecnologia de tratamento, idade da estação, população abastecida, tipo de administração, emprego e tipo de coagulante, taxa de filtração e tipo de meio filtrante. A avaliação da eficiência foi norteadada pela turbidez da água filtrada, mesmo tendo sido encontradas limitações com relação a sua avaliação, tais como: (i) variedade de equipamentos de medição; (ii) ponto de monitoramento diferenciado, pois nem todas as estações tinham como ponto de monitoramento o efluente do filtro; (iii) tipo de valor registrado, já que a norma da Pensilvânia estabelecia registro a cada quatro horas, mas não especificava qual o valor a ser registrado, se o máximo, médio diário ou todos os valores lidos no dia. Contudo, os autores ainda consideraram a turbidez a variável física mais prática para avaliar o desempenho dos filtros e verificaram que 22% das ETAs não cumpriram o padrão de 0,3 uT por pelo menos um mês do estudo.

Neste mesmo estudo, análise de variância (ANOVA) indicou influência na qualidade da água significativa ($\alpha=5\%$) das seguintes variáveis: emprego de coagulante, tamanho da população abastecida (quanto maior melhor), tipo de manancial (com melhores índices de qualidade em ETAs que captam água em rios, em detrimento das que possuem reservatórios ou captam em córregos), e idade da ETA. Os autores ressaltam que algumas variáveis intangíveis, tais como o compromisso da equipe em alcançar baixa turbidez, nível de habilidade do operador e atenção do operador, parecem ser tão importantes no desempenho das ETAs quanto as variáveis tangíveis avaliadas no estudo (LUSARDI e CONSONERY, 1999).

Pike (2004) analisou dados do período de 1983 a 2000 de 15 ETAs do estado da Pensilvânia nos EUA e seus resultados mostraram que as características ambientais e do sistema, bem como as decisões do operador (dosagem do coagulante e frequência de retrolavagem do filtro), foram os determinantes mais importantes da probabilidade de violação do padrão de turbidez.

Renner *et al.* (1993) apresentaram os resultados da implantação de um programa de aperfeiçoamento de ETAs dos EUA com objetivo de atender as premissas estabelecidas pelo *Surface Water Treatment Rule* (SWTR) sem grandes investimentos por ETA. O Programa de Correção Composta (CCP) atendeu 36 estações com população abastecida variando de 50 mil a 200 mil habitantes. O CCP foi dividido em: uma primeira fase, com objetivo de compreender e avaliar o desempenho da ETA em termos administrativos, operacionais e de manutenção (CPE); e a segunda, com o objetivo de dar suporte técnico aos gestores na implantação das correções propostas (CTA). A avaliação inicial indicou problemas operacionais em 29 das 36 estações com indícios de riscos à saúde da população abastecida. A segunda fase, desenvolvida em quatro ETAs, melhorou a qualidade da água produzida. Com relação às condições operacionais das estações foram considerados como variáveis de interesse: (i) o tempo de detenção hidráulica no floculador; (ii) o gradiente de velocidade no floculador; (iii) a taxa de sedimentação no decantador; (iv) a profundidade do decantador; (v) a taxa de filtração; (vi) a perda de carga nos filtros; (vii) a taxa de água de lavagem utilizada nos filtros; (viii) a duração da lavagem dos filtros; (ix) a relação concentração do desinfetante e tempo de detenção na desinfecção; (x) o tempo de detenção na desinfecção. Com relação à qualidade da água, a turbidez foi considerada uma importante variável para avaliação do desempenho da ETA, sendo recomendados valores de turbidez para água decantada < 2 uT, com pequenos períodos < 5 uT, e turbidez da água filtrada $< 0,1$ uT, com picos $< 0,3$ uT durante período inferior a 20 min após a lavagem.

A aplicação do programa CCP em 69 sistemas dos EUA e do Canadá é apresentada pela USEPA (1998), sendo a primeira fase (CPE) aplicada em todos os sistemas e a segunda fase (CTA) em oito sistemas. Em 60% das ETAs o principal problema estava relacionado aos fatores operacionais e a conscientização do corpo gerencial. O treinamento dos administradores foi primordial para a obtenção de resultados positivos no desenvolvimento da segunda fase do projeto. Os autores concluíram que para a otimização de uma ETA é necessário: (i) monitorar a turbidez da água bruta, decantada, filtrada e de lavagem dos filtros quando houver recirculação na ETA; (ii) garantir que a turbidez da água decantada permaneça $< 1,0$ uT quando em 95% do tempo a turbidez da água bruta for < 10 uT, ou garantir a turbidez da água decantada < 2 uT quando em 95% do tempo a turbidez da água bruta for > 10 uT; (iii) garantir a turbidez da água filtrada $< 0,1$ uT em 95% do tempo

de operação, permitindo que este valor seja ultrapassado após a lavagem dos filtros por no máximo 15 min; (iv) garantir que a turbidez máxima da água filtrada seja 0,3 uT; (v) iniciar lavagem dos filtros imediatamente após a turbidez da água filtrada > 0,1 uT ou o máximo de 0,3 uT.

Kirchhoff *et al.* (2019), ao realizarem ampla revisão bibliográfica, verificaram que há pouca concordância sobre os fatores influentes nas violações da norma de qualidade da água nos EUA e levantam algumas hipóteses para isso: (i) diferença nos dados (período, amplitude geográfica e frequência e tipo de violação considerada); (ii) a forma de analisá-los, desconsiderando características de localização, aspectos naturais/físicos e a atuação dos órgãos estaduais de fiscalização.

No Brasil, com os objetivos de permitir comparações entre estações do tipo convencional dotadas de decantadores de escoamento horizontal e identificar fatores limitantes para a otimização dos sistemas de tratamento, Lopes e Libânio (2005) desenvolveram um índice com 19 variáveis de interesse - Índice de Qualidade de Estações Convencionais de Tratamento de Água (IQETA). Este índice foi otimizado por Almeida (2009), reduzindo o número de variáveis de interesse para 12: (i) gradiente de velocidade da floculação/tempo de floculação; (ii) gradiente de velocidade nas passagens entre câmaras; (iii) número de câmaras; (iv) velocidade média de escoamento no canal de água floculada; (v) gradiente de velocidade médio nas comportas de acesso ao decantador; (vi) gradiente de velocidade através dos orifícios da cortina de distribuição de água floculada; (vii) velocidade de sedimentação (taxa de aplicação superficial); (viii) velocidade longitudinal de escoamento; (ix) vazão linear de coleta de água decantada; (x) taxa de filtração; (xi) expansão de leito filtrante ou velocidade ascensional de lavagem; (xii) lavagem auxiliar. Além dessas, o índice original também contava com: (i) gradiente de velocidade de mistura rápida; (ii) tempo de agitação de mistura rápida; (iii) duração da carreira de filtração; (iv) tempo de detenção no tanque de contato; (v) número de chicanas no tanque de contato; (vi) ensaio de Jar Test; (vii) grau de instrução da equipe de operação.

Como ferramenta de avaliação da tratabilidade da água por tratamento convencional, Souza e Libânio (2009) desenvolveram o Índice de Qualidade de Água Bruta – IQAB. Os autores adotaram como referência as águas classe 3 (CONAMA 357/2005), inodoras, sem gosto e com agrotóxicos e metais pesados

virtualmente ausentes, e consideraram oito variáveis como mais relevantes: (i) turbidez; (ii) cor verdadeira; (iii) pH; (iv) cianobactérias; (v) algas; (vi) *E. coli*; (vii) ferro; (viii) manganês.

Também com intuito de desenvolver um sistema de indicadores para índice de qualidade da água, Oliveira (2014b) avaliou dados operacionais referentes ao período de 2003 a 2011 de nove sistemas de abastecimento de água dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, operados por companhias estaduais de saneamento e por autarquias municipais. Todos os sistemas operavam com captação superficial, tratamento convencional e vazões médias de 36 L/s a 5400 L/s. A autora conclui que, para as ETAs avaliadas, a qualidade da água captada foi preponderante na produção de água com turbidez mais baixa (OLIVEIRA, 2014b).

Pereira *et al.* (2018), avaliando cinco pequenas ETAs (com vazões nominais entre 20 e 60 L/s) localizadas no interior do estado de Minas Gerais, utilizando dados de 2011/2012, verificou baixos índices de atendimento ao padrão de 0,5 uT: da ordem de 22%, 29%, 17%, 59% e 6%. Foi desenvolvido um sistema com 13 indicadores para avaliação de desempenho dessas ETAs, com destaque para a turbidez, que aparece diretamente em oito indicadores. Os indicadores foram categorizados em sete indicadores de resultado e seis indicadores de causa: (i) percentual de tempo de funcionamento da estação em que os filtros operaram com taxa de filtração superior à estabelecida pela NBR 12.216 (ABNT, 1992); (ii) razão entre a mediana das taxas de filtração reais e a taxa de filtração estabelecida pela NBR 12.216 (ABNT, 1992); (iii) razão entre a mediana da turbidez da água tratada e o valor de referência 0,5 uT; (iv) razão entre a mediana da turbidez decantada e a mediana da turbidez tratada; (v) percentual de tempo por ano em que a estação operou com vazão maior que a vazão de projeto; (vi) irregularidade na lavagem dos filtros.

Melo (2014) avaliou o desempenho de seis ETAs com dados de 2001 a 2011. Mesmo com dados anteriores à Portaria 2.914/2011 foi analisada a capacidade de atendimento ao padrão de turbidez estabelecido naquela versão da norma brasileira de potabilidade da água. Os resultados da análise estatística de confiabilidade indicaram que os valores médios de turbidez observados na água tratada por quase todas as ETAs seriam insuficientes para garantir 95% de atendimento ao padrão de 0,5 uT; conclui-se que a tecnologia de tratamento e o

porte não tiveram influência expressiva na confiabilidade no desempenho das estações.

Melo *et al.* (2019), avaliando dados de turbidez entre 2013 a 2015 de seis ETAs de grande porte localizadas na macrorregião Sudeste do Brasil e operadas pela mesma empresa, verificaram que o controle operacional apresentou maior influência na turbidez da água tratada do que as diferentes tecnologias de tratamento de água empregadas.

Melo (2019), analisou 45 ETAs com cinco tecnologias diferentes, operadas por três concessionárias de três estados brasileiros. Também com base em análise estatística de confiabilidade, a autora concluiu 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; concluiu ainda que a operação da estação de tratamento de água, específica para cada ETA, parece influenciar mais no desempenho, do que os fatores analisados (tipo do manancial, porte da estação e tecnologia de tratamento).

Nos capítulos anteriores viu-se que o padrão da norma brasileira de turbidez da água filtrada $\leq 0,5$ uT em 95% dos dados mensais não é atendido com facilidade (ou em elevada frequência) no país, tendo sido discutida a influência do modelo de gestão, do porte do município onde a ETA se encontra e de sua localização geográfica. Complementarmente, discute-se aqui a influência de alguns dos aspectos destacados na breve revisão de literatura acima apresentada – aspectos técnicos, operacionais e gerenciais associados ao tratamento da água.

5.2 Resultados e Discussão

5.2.1 Caracterização geral dos dados

De um grupo inicial de 234 ETAs de 154 municípios cujos gestores responderam ao questionário on-line, foram excluídas as ETAs com respostas inconsistentes, que não possuíam dados de turbidez no SISAGUA e, ou que não eram abastecidas por manancial superficial. Assim, o conjunto avaliado contou com 78 ETAs de 49 municípios, com representação de todas as macrorregiões, porém com maior participação de ETAs da macrorregião Sudeste e apenas uma da

macrorregião Norte. Deste grupo, 35 municípios (71,4%) contam com dados de uma ETA, 9 (18,4%) contam com dados de duas ETAs, 4 municípios (8,2%) contam com dados de três ETAs e um município (2%) conta com dados de 13 ETAs. Ao todo, foram reunidos dados de 64 ETAs de filtração rápida, localizadas em 42 diferentes municípios, 11 ETAs de filtração lenta de 9 municípios, além de 3 ETAs de 3 municípios sem definição da técnica de tratamento (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Total de ETAs e municípios analisados por estado e macrorregião geográfica.

Localização	FR		FL		ND		TOTAL	
	ETAs	Municípios	ETAs	Municípios	ETAs	Municípios	ETAs	Municípios
Brasil	64	42	11	9	3	3	78	49
Norte	0	0	1	1	0	0	1	1
Tocantins	0	0	1	1	0	0	1	1
Nordeste	3	2	1	1	0	0	4	3
Bahia	3	2	1	1	0	0	4	3
Sudeste	30	24	8	6	2	2	40	29
Minas Gerais	21	18	2	2	1	1	24	19
Espírito Santo	2	2	5	3	0	0	7	5
São Paulo	7	4	1	1	1	1	9	5
Sul	12	10	1	1	1	1	14	10
Paraná	1	1	0	0	0	0	1	1
Santa Catarina	10	8	1	1	1	1	12	8
Rio Grande do Sul	1	1	0	0	0	0	1	1
Centro-Oeste	19	6	0	0	0	0	19	6
Mato Grosso	18	5	0	0	0	0	18	5
Distrito Federal	1	1	0	0	0	0	1	1

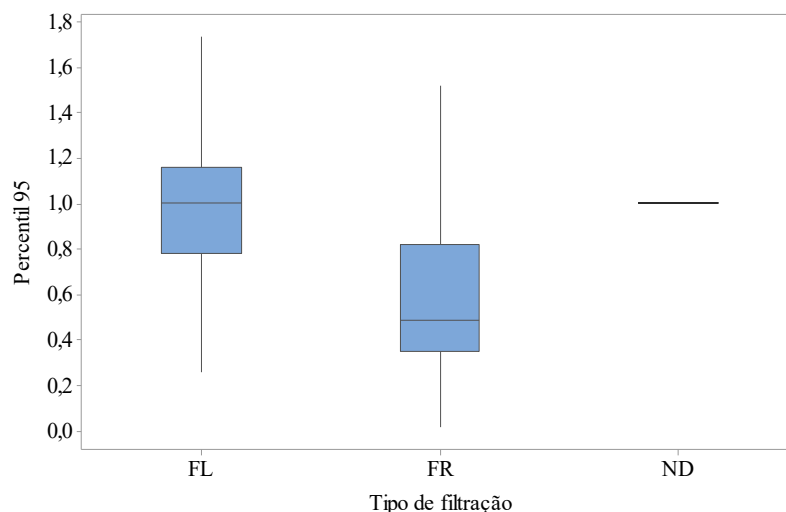
FR: filtração rápida; FL: filtração lenta; ND: técnica de filtração não definida.

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

Os valores dos percentis 95 dos dados de turbidez da água filtrada informados no SISAGUA pelas ETAs cujos gestores responderam ao questionário seguiram a lógica dos padrões e VMPs estabelecidos na norma brasileira de potabilidade da água, com valores mais elevados para as ETAs de filtração lenta e mais baixos nas ETAs com filtração rápida (Figura 5.1).

Na Tabela 5.2 apresenta-se uma caracterização mais detalhada dos dados mensais de P95I do total de ETAs de filtração rápida cujos gestores informaram seus dados ao SISAGUA entre 2014 e 2017, e que responderam ao questionário, agrupadas por tipo de filtração.

Figura 5.1 – Representação gráfica¹ da estatística descritiva dos valores informados no SISAGUA do P95I², pelas ETAs cujos gestores responderam ao questionário, janeiro de 2014 a dezembro de 2017, agrupados por tipo de filtração.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - Primeiro e terceiros quartis (limites inferior e superior dos retângulos nos gráficos *box-plot*); medianas (linhas horizontais internas aos retângulos), valores mínimos e máximos (limites inferior e superior das linhas verticais). (2) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Contudo, foi dada sequência na análise apenas das ETAs de filtração rápida, uma vez que, a maior parte das ETAs autodeclaradas como de filtração lenta no questionário, 6 em 11, apresentaram dados (de taxa de filtração, de qualidade da água bruta e de etapas de tratamento) que geram dúvidas sobre a adequada definição da tecnologia de tratamento.

Tabela 5.2 - Estatística descritiva dos valores mensais dos P95I¹ entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017: ETAs de filtração rápida com dados informados no SISAGUA (SISAGUA (FR)) e cujos gestores responderam ao questionário - filtração rápida (Quest FR), filtração lenta incluindo todas que se autodeclararam como tal (Quest FL), e ETAs que não especificaram a técnica de filtração (Quest ND).

Fonte da informação / técnica de filtração	Nº Total (NT)	Nº de informação (Ni)	Nº dados faltantes	% Ni/NT	Média	Ep média	Dp	σ	CV	Mín	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	Máx	Q ₇₅ - Q ₂₅	Moda	Assi- metria	Curto- se
SISAGUA (FR)	41358	41358	0	100	0,637	0,002	0,404	0,163	63,32	0,01	0,35	0,50	0,90	1,93	0,55	0,50	1,04	0,71
Quest. FR	3052	1844	1208	60,4	0,622	0,009	0,386	0,149	62,08	0,02	0,35	0,49	0,82	1,93	0,47	1,00	1,12	0,74
Quest. FL	528	163	365	30,9	1,002	0,029	0,373	0,139	37,21	0,26	0,78	1,00	1,16	1,92	0,38	1,00	0,44	0,02
Quest. ND	142	66	76	46,5	0,962	0,034	0,279	0,078	29,02	0,22	1,00	1,00	1,00	1,84	0,00	1,00	0,08	3,32

Ep: erro padrão; Dp : desvio padrão; σ : variância; CV: coeficiente de variação; Q₂₅: 1º quartil; Q₅₀: mediana; Q₇₅: 3º quartil;

Fonte: SISAGUA (2014-2017)..

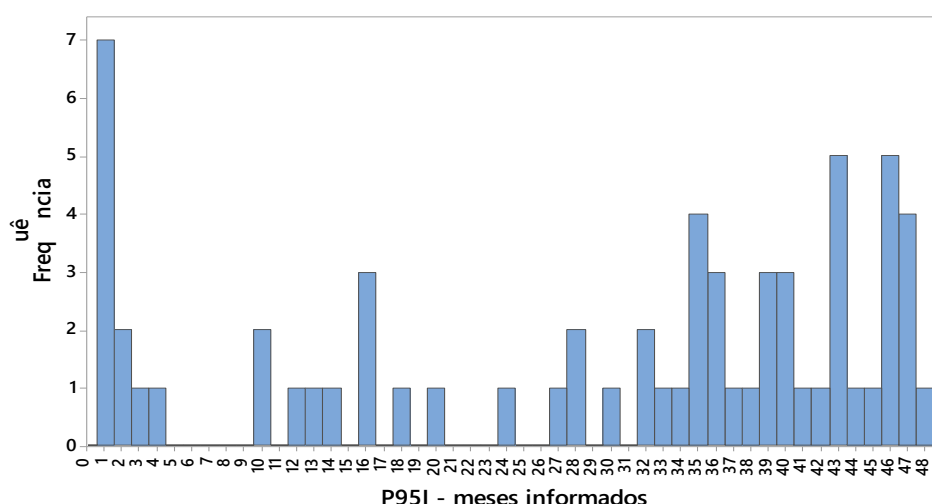
(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

5.2.2 Caracterização dos dados de ETAs de filtração rápida

As 64 ETAs de filtração rápida, de 42 municípios, cujos gestores responderam ao questionário, correspondem a 3,1% das 2.036 ETAs com captação em manancial superficial e tratamento por filtração rápida, e a 2,9% dos 1.464 municípios do conjunto de ETAs com dados de turbidez informados no SISAGUA entre 2014 e 2017 avaliadas nos capítulos anteriores.

O número de meses com valores informados no SISAGUA do 95º percentil de turbidez foi bem variado entre as ETAs: 11 ETAs não tiveram dados informados por mais de quatro meses, mas 27 ETAs tiveram dados informados por mais de 36 meses (Figura 5.2).

Figura 5.2 – Distribuição de frequência do número de ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário pelo número total de meses com dados de P95I¹ informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

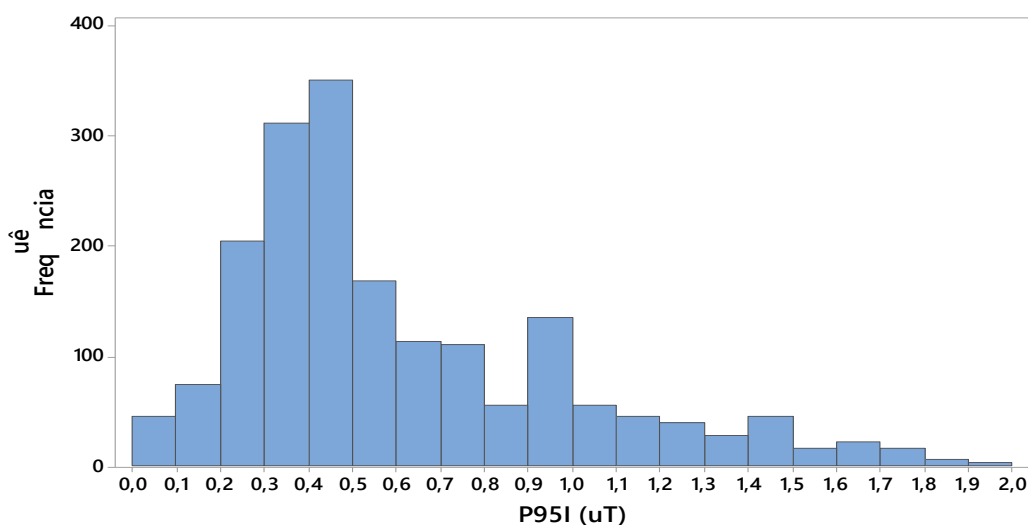
(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

A distribuição de frequência dos valores de P95I apresentada na Figura 5.3 demonstra, ao longo do período avaliado, aumento da frequência do número de dados desde os valores mais baixos de turbidez até 0,5 uT (padrão de potabilidade brasileiro, aplicável em 95% dos dados mensais), decaindo a seguir até 1,0 uT (limite superior da norma brasileira para qualquer análise pontual), quando há elevação pontual para, na sequência, voltar a decair de forma gradual. Esta distribuição de frequência dos valores de P95I não apresentou aderência significativa, pelo teste de Anderson Darling, a nenhuma distribuição de

probabilidade pré-definida (normal, lognormal, exponencial, Weibull, gama, logística e loglogística).

Foi analisada a similaridade desta distribuição de frequência com a do total de dados de P95I das ETAs de filtração rápida e captação em manancial superficial informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017. O teste de intervalo de confiança para duas variâncias, utilizando os métodos de Bonett e Levene, válidos para toda distribuição contínua, apresentaram valores-p de 0,028 e 0,007, respectivamente. Assim, não se assumiu igualdade de variâncias para realização do teste t para duas amostras, pelo qual, ao nível de significância de 5%, não é possível rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias dos dois conjuntos de dados; ou seja, se pode considerar que as médias do total das ETAs analisadas no SISAGUA e cujos gestores responderam ao questionário não são diferentes.

Figura 5.3 – Distribuição de frequência dos valores do P95I¹ nas ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

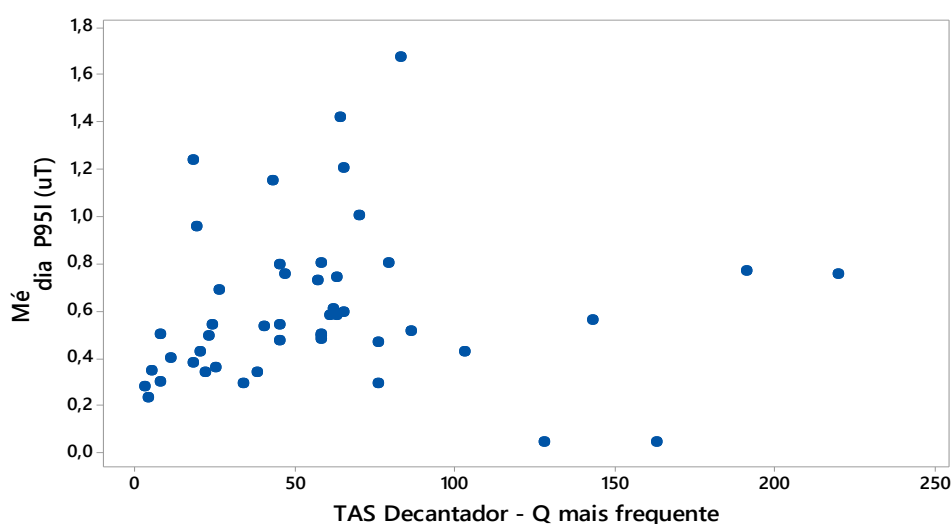
5.2.3 Influência de fatores técnico-operacionais na turbidez da água filtrada

Entre as diversas questões levantadas no questionário como possíveis fatores influentes na turbidez da água filtrada de ETAs com filtração rápida, apenas a taxa de aplicação superficial dos decantadores (TAS) e o tipo de filtração apresentaram correlação estatisticamente significativa (nível de confiança de 5%) com a turbidez da água filtrada. As variáveis analisadas nos capítulos anteriores

(porte municipal, macrorregião geográfica e modelo de gestão) não apresentaram correlação com significância estatística para este conjunto de dados. As TAS dos decantadores, calculadas para a vazão mais frequente de cada ETA, apresentou correlação significativa e positiva com a turbidez da água filtrada, porém com valor baixo: coeficiente de Spearman 0,298 ($p = 0,042$). Os valores de TAS e turbidez estão apresentados na Figura 5.4.

Este resultado faz sentido com base no entendimento de que taxas de aplicação superficiais mais baixas implicam na remoção de partículas menores / menos densas, consequentemente, maior eficiência de remoção de partículas em geral na decantação; por conseguinte, menor aporte de partículas aos filtros e melhor desempenho destes. Brinck (2019) realizando ensaios em escala piloto de filtros com diferentes configurações de meio filtrante destaca que quanto melhor foi a qualidade da água decantada melhor foi também o comportamento de todos os sistemas de filtração analisados com respeito à qualidade da água filtrada, à evolução de perda de carga e ao tempo de duração da carreira.

Figura 5.4 – Dispersão dos pares de valores de TAS¹ e de P95I² das ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário, entre janeiro. 2014 a dezembro 2017.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) – TAS - taxa de aplicação superficial dos decantadores (Vazão/Área superficial) (2) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

A influência da decantação na turbidez da água filtrada é corroborada pelos resultados dos testes de mediana de Mood para as seguintes variáveis: (i) adequação da TAS aos valores de norma ($p = 0,079$), e (ii) frequência de limpeza do

decantador ($p = 0,136$). Há, portanto, tendência de ocorrência de valores mais baixos de turbidez da água filtrada em ETAs com TAS de acordo com os valores especificados na norma da ABNT para projeto de estações de tratamento de água (ABNT, 1992), assim como em ETAs com limpezas mais frequentes do decantador (Tabela 5.3 e Tabela 5.4).

Tabela 5.3 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I¹ em ETAs de filtração rápida com TAS² de acordo ou não com recomendações de norma, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Adequação da TAS do decantador ao previsto em norma	N° ETAs	Mediana	IC (95%)	
			Li	Ls
Acima	14	0,67	0,51	0,80
De acordo	33	0,50	0,39	0,57
ND	17	0,74	0,46	0,84
Total	64	0,55		

Li - limite inferior; Ls – limite superior; ND - não definido

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente. (2) – TAS - taxa de aplicação superficial dos decantadores (Vazão/Área superficial).

Tabela 5.4 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I¹ em ETAs com diferentes faixas de intervalos de limpeza do decantador, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Frequência de limpeza do decantador ^(*)	N° ETAs	Mediana	IC (95%)	
			Li	Ls
≤ 1 mês	46	0,52	0,47	0,61
1 a 3 meses	10	0,51	0,35	0,88
3 a 6 meses	3	1,07	0,66	1,68
ND	5	0,74	0,34	1,53
Total	64	0,55		

(*) Níveis com < 6 observações têm confiança < 95%; Li - limite inferior; Ls – limite superior; ND - não definido.

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Quanto ao tipo de filtração, as ETAs com filtração direta apresentaram pior desempenho em termos de turbidez da água filtrada em comparação às ETAs de ciclo completo/convencional ($p = 0,039$) (Tabela 5.5). Isso pode também ter relação com a já citada relevância da etapa de decantação, que não está presente nas ETAs de filtração direta. Menor eficiência na remoção de turbidez por filtração direta foi também reportada por Cerqueira (2008), em estudo em escala piloto. Porém, há que

se considerar que gestores de apenas quatro ETAs com filtração direta responderam ao questionário, o que inclusive, impacta no nível de confiança do teste (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I¹ em ETAs que empregam filtração direta ou ciclo completo, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Tipo de filtração (*)	N° ETAs	Mediana	IC (95%)	
			Li	Ls
Filtração direta (sem decantação)	4	0,79	0,59	1,53
Filtração rápida (ciclo completo)	60	0,54	0,48	0,66
Total	64	0,55		

(*) Níveis com < 6 observações têm confiança < 95%; Li - limite inferior; Ls – limite superior; ND - não definido.

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

Outro fator, relacionado à própria etapa de filtração, que demonstrou influência na turbidez da água filtrada foi o tipo de meio filtrante. As ETAs com camada dupla (areia + antracito) apresentaram, em geral, valores mais baixos de turbidez da água filtrada do que as ETAs de camada simples ($p = 0,067$, ou seja, pouco acima do 0,05) (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I¹ em ETAs com filtração em camada simples ou em camada dupla, dados informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017.

Tipo de meio filtrante (*)	N° ETAs	Mediana	IC (95%)	
			Li	Ls
Camada dupla (areia + antracito)	46	0,50	0,46	0,58
Camada simples (apenas areia)	16	0,74	0,58	1,02
ND	2	1,04	0,40	1,675
Total	64	0,55		

(*) Níveis com < 6 observações têm confiança < 95%. Li - limite inferior; Ls – limite superior; ND - não definido.

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - valor informado no SISAGUA do 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente.

5.2.4 Opinião dos responsáveis pelas ETAs em relação às dificuldades para atender o padrão de turbidez

As respostas à pergunta “com que frequência o valor da turbidez da água filtrada de sua ETA ultrapassa o limite estabelecido pela Portaria MS nº 2914/2011?” mostraram-se condizentes com os dados do SISAGUA. O teste de medianas de

Mood revelou que as ETAs cujos gestores relataram frequente violação do padrão de turbidez foram também as ETAs com maiores valores de turbidez (P95I) informados no SISAGUA ($p = 0,005$) (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Valores das medianas e respectivos intervalos de confiança de 95% (Teste de Mood) das médias dos valores de P95I¹, informados no SISAGUA, janeiro de 2014 a dezembro de 2017 em ETAs por categoria reportada de violação do padrão de turbidez.

Frequência de violação do padrão de turbidez ^(*)	Nº ETAs	Mediana	IC (95%)	
			Li	Ls
Frequentemente	19	0,84	0,59	1,19
Raramente	41	0,51	0,46	0,59
Nunca	3	0,29	0,04	0,46
ND	1	0,36	0,36	0,36
Total	64	0,55		

(*) Níveis com < 6 observações têm confiança < 95,0%; Li - limite inferior; Ls – limite superior; ND - não definido.

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA.

Dos sessenta e quatro gestores de ETAs de filtração rápida que responderam ao questionário, trinta e um abordaram a questão aberta “comente sobre facilidades encontradas no atendimento aos limites de turbidez estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde”: Foram registradas onze menções à boa qualidade da água bruta e seis à sazonalidade desta boa qualidade, relacionada aos períodos de estiagem; quatro menções às questões relacionadas à boa estrutura das ETAs e três ao bom controle operacional da etapa de decantação.

Por outro lado, em resposta à questão “comente sobre dificuldades encontradas no atendimento aos limites de turbidez estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde”, foram recebidas trinta e três respostas. Foram registradas quatorze referências à influência da turbidez da água bruta, sendo que doze respostas destacaram que esta é uma questão sazonal, associada aos períodos chuvosos. Em oito respostas apareceram questões estruturais das ETAs, sendo quatro relacionadas ao tratamento de vazões superiores à capacidade da ETA, como resultado de aumento da demanda de água. Em duas respostas houve indicação de não concordância (técnica - conceitual) com os valores da norma, que estariam fora da realidade. Apareceram ainda menções a questões operacionais (2), de manutenção (2), baixa disponibilidade hídrica do manancial (1), falta de fiscalização (1) e capacitação de mão de obra (1).

Conforme ilustrado nos depoimentos a seguir registrados, a influência da turbidez da água bruta na dificuldade de atendimento do padrão de turbidez da água filtrada, principalmente em época de chuvas, foi a questão mais recorrente na opinião dos responsáveis pelas ETAs:

“Apenas caso ocorra uma mudança brusca na turbidez da água bruta casos que podem ocorrer no período de chuvas. Mas a operação neste período sempre esta mais atenta.”

“Em dias chuvosos com turbidez elevada da água bruta até o ajuste do tratamento, pode haver alguma dificuldade em atingir os limites imediatamente.”

“Quando chove forte a água bruta sofre mudança muito brusca e rápida, com picos elevados de cor e turbidez dificultando a dosagem de coagulante na dosagem correta, interferindo consequentemente na floculação e nos processos posteriores.”

Outras respostas levantaram a complexidade e grande número de fatores que podem influenciar na violação do padrão de turbidez:

“a) Devido a ETA operar com vazão acima da sua vazão de projeto isso traz dificuldades para cumprir a meta, pois trabalha com uma taxa de filtração alta; b) Equipamentos antigos, como o dosador de coagulante que apresenta muitas vezes problemas na dosagem; c) Variação brusca de turbidez da água bruta em época de chuvas; d) Lavagem superficial e retrolavagem apenas com água sem ar; e) Devido a produção não atender a demanda de consumo muitas vezes temos que segurar um pouco a lavagem dos filtros para valores de turbidez da filtrada acima do recomendado.”

“As dificuldades vão desde a falta de mão de obra capacitada, falta de investimento em recursos humanos e tecnologia, falta de política de capacitação para os servidores. As ETAs, em sua grande maioria, trabalham com sobrecarga, com as unidades de clarificação deterioradas e sem investimento em projetos, reformas e ampliações. Falta planejamento levando em consideração o crescimento populacional e diversas demandas exigidas pelo Sistema de Abastecimento de

Água. Falta fiscalização por parte dos órgãos responsáveis pela Vigilância que também não tem capacitação para fiscalizar.”

Essas questões levantadas pelos responsáveis pelas ETAs têm sido também pontuadas em estudos anteriores, como, por exemplo: turbidez da água bruta (OLIVEIRA, 2014b); a importância das etapas de decantação e filtração (Renner *et al.*, 1993; USEPA, 1998); do controle operacional (LUSARDI e CONSONERY, 1999), com atenção especial às dosagens de coagulantes (PIKE, 2004) e à fiscalização (KIRCHHOFF *et al.*, 2019; BENNEAR e OLMSTEAD, 2008).

5.2.5 Análise multivariada dos dados do questionário

A análise multivariada por meio do ajuste de modelo de regressão logística das ETAs cujos gestores responderam ao questionário apresentou associação estatisticamente significativa (95% de confiança) apenas para as ETAs situadas na macrorregião Sul. Essas ETAs apresentaram 2,51 vezes mais chances de atender ao padrão de turbidez ($P_{95I} \leq 0,5$ uT) que as ETAs da macrorregião de referência, Sudeste. Conforme modelo 5A da Tabela 5.8, modelo que apresentou o melhor ajuste, com menor AIC.

Tabela 5.8 - Modelo de regressão logística para associação de características das ETAs, com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário, com o valor médio de turbidez (P95I¹).

Variáveis	n (%)	OR	IC 95%	Modelo 5A		Modelo 5B	
				OR aj.	IC 95%	OR aj.	IC 95%
Macrorregião							
Nordeste	3 (4,68%)	1,87	0,91; 3,73	1,91	0,72; 5,13	1,87	0,91; 3,73
Sudeste	30 (46,87%)	1	ref.	1	ref.	1	ref.
Sul	12 (18,75%)	1,58	1,01; 2,48	2,51	1,04; 6,15*	1,58	1,01; 2,48*
Centro-Oeste	19 (29,69%)	0,92	0,66; 1,27	0,9	0,42; 1,91	0,92	0,66; 1,27
Modelo de Gestão							
Aut	40 (62,50%)	1	ref.	1	ref.		
Epriv	16 (25%)	0,98	0,70; 1,38	2,85	0,99; 8,01		
APD	7 (10,93%)	0,88	0,46; 1,68	0,95	0,36; 2,47		
Porte Municipal							
10-20	3 (4,68%)	0,75	0,43; 1,28	0,61	0,24; 1,58		
20-50	19 (29,68%)	1	ref.	1	ref.		
50-100	2 (3,12%)	0,69	0,37; 1,27	0,66	0,29; 1,47		
100-500	11 (17,18%)	0,98	0,61; 1,57	0,59	0,23; 1,51		
>500	14 (21,87%)	0,73	0,45; 1,16	0,33	0,10; 1,17		
Taxa de Aplicação Superficial (Q+frequente)							
Dentro	33 (70,21%)	1	ref.	1	ref.		
Acima	14 (29,79%)	0,68	0,49; 0,95	1,24	0,59; 2,52		
Meio filtrante							
Camada dupla	46 (74,19%)	1	ref.	1	ref.		
Camada simples	16 (25,80%)	0,92	0,61; 1,38	0,86	0,43; 1,70		
Taxa de filtração (Q+frequente)							
Dentro	49 (76,56%)	1	ref.	1	ref.		
Acima	14 (21,87%)	0,7	0,50; 1,00	0,91	0,57; 1,43		
AIC				60,56		86,64	

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017. *- Variável significativa (IC <>1,00).

O percentual acumulado da variância explicada das duas primeiras dimensões foi maior que aquela apenas com os dados do SISAGUA (Tabela 4.13), passando de aproximadamente 19% para 31,33% (Tabela 5.9) com a inclusão das respostas ao questionário, mesmo com a diminuição do número de ETAs avaliadas. O conjunto de dados utilizados contém 64 observações, embora duas observações tenham sido desconsideradas devido à falta de resposta.

Tabela 5.9 - Análise de componentes principais da análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I¹) das ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário.

Dimensões	Autovetores	% da Variância	% acumulado da variância
dim 1	0,56	18,74	18,74
dim 2	0,38	12,59	31,33
dim 3	0,35	11,76	43,09
dim 4	0,29	9,65	52,75
dim 5	0,25	8,31	61,05
dim 6	0,21	7,16	68,21
dim 7	0,20	6,73	74,94
dim 8	0,19	6,25	81,19
dim 9	0,14	4,56	85,75
dim 10	0,13	4,20	89,95
dim 11	0,11	3,83	93,79
dim 12	0,08	2,62	96,41
dim 13	0,05	1,74	98,14
dim 14	0,04	1,48	99,62
dim 15	0,01	0,38	100

Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.

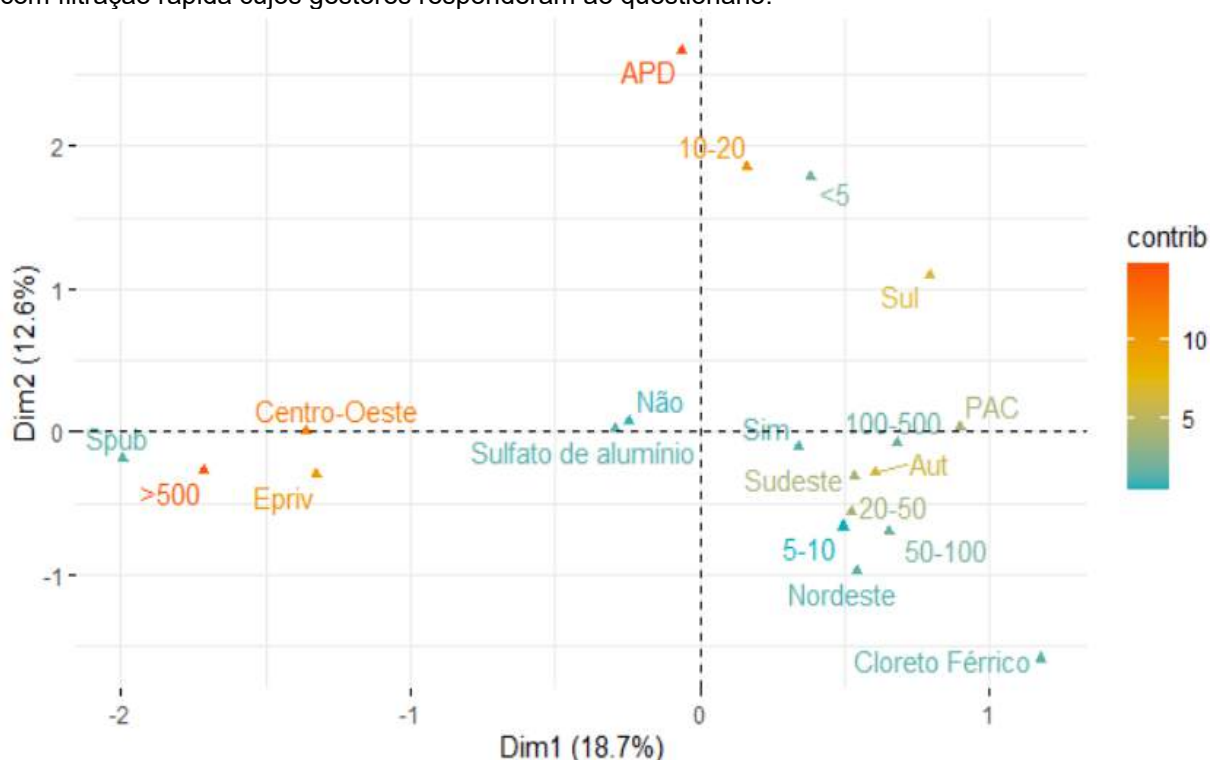
A análise de correspondência múltipla (Figura 5.5), como esperado, demonstrou que as ETAs que atenderam ao padrão de turbidez da água filtrada apresentam características distintas daquelas que não atenderam. Isso fica evidente ao observar as categorias “Sim” (ETAs com $P95I \leq 0,5$ uT) e “Não” (ETAs $P95I > 0,5$ uT) que estão em lados opostos do gráfico. Em linhas gerais, pode-se compreender que as categorias que se afastam do ponto (0,0) horizontalmente (Dimensão 1) em sentido à direita e verticalmente (Dimensão 2) no sentido a porção superior do gráfico, apresentam características que influenciam favoravelmente no atendimento ao padrão de turbidez, enquanto aquelas categorias ao lado esquerdo e na porção inferior, desfavorecem.

Chama atenção o agrupamento de ETAs da macrorregião Centro-Oeste, modelo de gestão de Empresa Privada (EPriv) e de municípios com mais de 500 mil habitantes. Esse agrupamento diz respeito a 13 ETAs de uma mesma cidade e empresa. Essas 13 ETAs correspondem a 20% do total de ETAs avaliadas, 68% das ETAs da macrorregião Centro-Oeste, 81% das ETAs com esse modelo de gestão e 93% das ETAs de municípios com mais de 500 mil habitantes. Esse elevado número de ETAs de um mesmo local e empresa acaba por impactar a análise dessas variáveis e dificulta a generalização dos resultados dessas categorias.

Outro agrupamento que chama atenção é o de ETAs com Administração Pública Direta (APD), localizadas em municípios com população entre 10 e 20 mil habitantes (10-20). Apenas duas ETAs se apresentaram neste agrupamento, correspondendo à totalidade de ETAs dessa faixa populacional e 2/7 das ETAs desse modelo de gestão.

Em relação ao coagulante, as que utilizam PAC foram mais propícias a atender ao padrão de turbidez.

Figura 5.5 – Análise de correspondência múltipla da variância da média de turbidez (P95I¹) das ETAs com filtração rápida cujos gestores responderam ao questionário.



Fonte: SISAGUA (2014-2017).

(1) - 95º percentil do conjunto de amostras de turbidez da água filtrada analisadas mensalmente informados no SISAGUA entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017.

5.3 Conclusões

As análises das respostas ao questionário aumentaram o percentual da variância da turbidez (P95I) explicada em relação à análise realizada no capítulo anterior: de 19% da análise com apenas os dados do SISAGUA para 31% com a inclusão das respostas ao questionário. Porém, este valor ainda indica que a maior parte da variação (69%) não é explicada com as variáveis analisadas.

As análises das respostas ao questionário permitiram identificar a influência das etapas de decantação e filtração na turbidez da água filtrada (filtração rápida). Valores mais baixos de turbidez da água filtrada se mostraram associados a: (i) taxas de aplicação superficiais mais baixas e de acordo com os valores preconizados na norma brasileira de projetos de ETAs; (ii) a existência da etapa de decantação, em detrimento das ETAs com filtração direta; (iii) maior frequência de limpeza do decantador; e (iv) filtros de camada dupla, comparativamente às ETAs com filtros de camada simples.

Entretanto, essas associações não foram confirmadas como variáveis significativas para influenciar a turbidez da água filtrada pela análise multivariada de regressão logística; análise esta que apontou apenas a localização na macrorregião Sul como variável significativa, no caso com influência positiva em relação àquelas ETAs localizadas na macrorregião de referência, Sudeste.

A qualidade da água bruta apareceu como fator gerador de dificuldades/facilidades para atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada da norma de potabilidade mais citado na pesquisa de opinião dos responsáveis pelas ETAs. Também foram citados, em menor frequência, fatores relacionados a questões estruturais, de sobrecarga das ETAs, de manutenção, de controle operacional, de baixa disponibilidade hídrica e da falta de capacitação e fiscalização.

5.4 Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 18 p.

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.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; MIERZWA, J.C. Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano. In: PÁDUA, V.L.D. **Remoção de microrganismos emergentes e micro contaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: ABES, 2009. p. 327-360.

BEAUDEAU P. A Systematic Review of the Time Series Studies Addressing the Endemic Risk of Acute Gastroenteritis According to Drinking Water Operation Conditions in Urban Areas of Developed Countries. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v.15, n.5, p. 857, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph15050867>. Acesso em: 4 jun. 2019.

BENNEAR, L. S.; OLMSTEAD, S. M. The impacts of the “right to know”: Information disclosure and the violation of drinking water standards. **Journal of Environmental Economics and Management**. v.56, n.2, p. 117-130. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2008.03.002>. Acesso em: 4 mai. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA no 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. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Comentários sobre a Portaria MS. N.º 518/2004: subsídios para implementação**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 92 p, 2005 (Série E, Legislação em Saúde).

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde; 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, 14 de dezembro de 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Anexo XX da Portaria de Consolidação MS/GM nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2017; Suplemento:360-568. Disponível em:

http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html
Acesso em: 10 fev. 2020.

BRINCK, N.C.P. **Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento**. 2009. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2009.

CERQUEIRA, D. A., **Remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum* e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto**. 2008. 214 f., Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CONSONERY, P. J.; GREENFIELD, D. N.; LEE, J. J. Pennsylvania's filtration evaluation program. **Journal American Water Works Association**, v. 89, p. 67-77. 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1997.tb08277.x>. Acesso em: 7 mai. 2019.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION OF PENNSYLVANIA STATE (DEP) **Performance Measures of Pennsylvania's Area-Wide Optimization Program Safe Drinking Water Program** 2014. Disponível em: http://files.dep.state.pa.us/Water/BSDW/AboutWaterSupply/PerformanceMeasures/FPE%20Annual%20Progress%20Report%202014_web.pdf. Acesso em: 12 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. IBGE, Rio de Janeiro, RJ, 2010. 219p.

KIRCHHOFF, C.J.; FLAGG, J.A.; ZHUANG, Y. *et al.* Understanding and Improving Enforcement and Compliance with Drinking Water Standards. **Water Resources Management**. v. 33, p. 1647–1663. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-2189-4>. Acesso em: 06 mai. 2019.

LeCHEVALLIER, M. W.; AU, K.K. **Water treatment and pathogen control: process efficiency in achieving safe drinking water**. Geneva: WHO, IWA, p. 112, 2004.

LOPES, V. C.; LIBANIO, M.. Proposição de um índice de qualidade de estações de tratamento de água (IQETA). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 318-328, Dec. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000400008>. Acesso em: 2 jun. 2019.

LUSARDI, P. J.; CONSONERY, P. J. Factors affecting filtered water turbidity. **Journal - American Water Works Association**. v. 91, p. 28-40. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1999.tb08748.x>. Acesso em: 5 mai. 2019.

MELO, L.D.V., **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de água**. 2014. 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. **Avaliação estatística de desempenho de estações de tratamento de água, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial**. 168 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MELO, L.D.V., DA COSTA, E.P., PINTO, C.C. *et al.* Adequacy analysis of drinking water treatment technologies in regard to the parameter turbidity, considering the quality of natural waters treated by large-scale WTPs in Brazil. **Environmental monitoring and assessment**. v. 191, n. 384. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7526-9>. Acesso em: 8 jul. 2019.

OLIVEIRA, M. D. **Desenvolvimento, aplicação e avaliação de sistema de indicadores de desempenho de estações de tratamento de água**. 2014a. 136f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014a.

OLIVEIRA, M. D., **Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho de estações convencionais de tratamento de água**. 2014b. 205f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014b.

PEREIRA, L. G.; SILVA, G. A.; LIBÂNIO, M. Proposição de sistema de indicadores de desempenho operacional de estações de tratamento de água à luz do prestador de serviço: aplicação a cinco estações de ciclo completo. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 6, p. 1163-1172, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018168875>. Acesso em: 25 abr. 2019.

PIKE, W. A. Modeling drinking water quality violations with bayesian networks. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 40: p. 1563-1578. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2004.tb01606.x>. Acesso em: 4 abr. 2019.

RENNER, R. C.; HEGG, B. A.; BENDER, J. H.; BISSONETTE, E. M. Composite Correction Program Optimizes Performance at Water Plants. **Journal - American Water Works Association**, v. 85: p. 67-74. 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1993.tb06010.x>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SOUZA, M. E. T. A.; LIBÂNIO, M. Proposta de Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB) afluentes a estações convencionais de tratamento. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 471-478, 2009.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulations: disinfectants and disinfection byproducts; Final rule**. Federal Register, v. 63, n. 241, Wednesday, December 16, 1998.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions**. EPA 815 –R 99-010. 1999.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Water quality and health: **review of turbidity: information for regulators and water suppliers**. Technical brief.

Genebra: WHO, (WHO/FWC/WSH/17.01). 2017a, 10 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665>. Acesso em: 9 fev. 2019.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed, including first addendum)**. Geneva: World Health Organization. 2017b Disponível em: www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/. Acesso em: 12 set. 2019.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de 2.036 ETAs localizadas em 1.464 municípios com filtração rápida e supridas por manancial superficial demonstraram evolução na alimentação do banco de dados do SISAGUA e no cumprimento do padrão de turbidez da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano ao longo dos anos avaliados, 2014 a 2017.

Entretanto, os resultados observados devem ser relativizados em função de limitações do banco de dados, tais como: (i) os ainda baixos índices de envio de informações ao SISAGUA por parte dos prestadores de serviços; (ii) o caráter auto declaratório do banco de dados e, portanto, o potencial de incertezas em seu entorno; (iii) o baixo número de respostas dos prestadores de serviços aos questionários enviados no presente estudo; (iv) a não aleatoriedade das amostras de ETAs avaliadas. Isto, enfim, restringe o potencial de generalização dos resultados.

Não obstante, os principais resultados podem ser destacados como a seguir.

Persiste no país um grande número de ETAs que não atendem ao padrão de 0,5 uT e outras que sequer observam o limite de 1,0 uT, evidenciando o tamanho do desafio para a garantia da qualidade da água tratada nas ETAs brasileiras. Por outro lado, a ocorrência de ETAs que alcançam valores ainda mais restritivos de turbidez, como 0,3 uT, em todas as regiões e portes municipais demonstra a possibilidade de avanço no atendimento ao padrão de turbidez.

Em análises univariadas, foram detectadas diferenças na turbidez da água filtrada de acordo com a localização macrorregional, o modelo de gestão e o porte do município. Contudo, a análise multivariada de regressão logística, demonstrou influência significativa apenas nos seguintes casos: (i) a localização da ETA nas macrorregiões Nordeste e Centro-Oeste de maneira negativa em relação à localização na macrorregião de referência, Sudeste; (ii) o modelo de gestão de sociedade de economia mista com administração privada - Spriv (todas da SANEPAR), de forma positiva em relação ao modelo de gestão de referência, sociedade de economia mista com administração pública (Spub). Como já referido, a SANEPAR possui a especificidade de que, apesar de possuir a maior parte de seu capital sobre controle privado (80%), o poder de decisão ainda é estatal (60% do capital votante pertencem ao Governo do Estado do Paraná).

A localização geográfica das ETAs e sua relação com a circunvizinhança demonstraram influenciar na turbidez da água filtrada. Foram identificados aglomerados intrarregionais que podem auxiliar no direcionamento de áreas prioritárias para atuação de órgãos responsáveis pela fiscalização e assistência técnica, com possibilidades de intercâmbio e troca de experiências com locais próximos com elevado desempenho.

A análise das respostas de 64 ETAs a um questionário eletrônico aumentou a capacidade de explicação da variância dos valores de P95I das análises realizadas apenas com as variáveis de macrorregião, modelo de gestão e porte municipal, passando de 19% para 31%, e apontou a influência das etapas de decantação e filtração na turbidez da água filtrada. Contudo, a análise multivariada identificou apenas a localização na macrorregião Sul como fator significativo em relação às categorias de referência.

É de se observar que em todos os grupos (modelos de gestão, portes municipais, macrorregião) há ocorrência de ETAs com elevado desempenho, atendendo à norma brasileira de potabilidade da água.

A hipótese dessa pesquisa pode ser considerada como parcialmente confirmada, pois os aspectos regionais, técnicos, operacionais e gerenciais demonstraram influenciar, apenas em parte, o atendimento aos limites do padrão de turbidez, com a maior porção da variação desse atendimento à norma (69%) não sendo explicada pelas variáveis aqui analisadas.

APÊNDICE

Questionários Eletrônicos

Questionário “Administrativo”

Questionário - TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS

O Sr.(a) está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa "TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS", desenvolvido pelo pesquisador João Francisco de Paula Pimenta e orientado pelo professor Rafael K. Xavier Bastos, do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa-UFV. Todas as informações necessárias sobre a pesquisa encontram-se relacionadas abaixo e caso haja dúvidas, favor esclarecê-las antes de confirmar o consentimento do presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE.

O objetivo geral desta pesquisa é diagnosticar o atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada estabelecido na norma brasileira de potabilidade e identificar fatores preponderantes para eventuais dificuldades enfrentadas no cumprimento do padrão pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água do país. Tanto pela alteração dos padrões realizada em 2011, quanto para subsidiar o contínuo processo de atualização desta norma. Para alcançar o objetivo desta pesquisa estão sendo enviados dois questionários com questões específicas de cada ETA quanto suas estruturas físicas, seus equipamentos e produtos químicos, seus servidores e seus procedimentos técnicos e operacionais. Um questionário com informações do setor administrativos de recursos humanos, com tempo médio de preenchimento de 20 minutos e o segundo, com informações técnicas e estruturais das ETAs, com tempo médio de preenchimento de 40 minutos.

Enfatizamos que as informações aqui reunidas serão utilizadas unicamente para fins acadêmicos. Esclarecemos que todas as informações serão tratadas e, eventualmente, divulgadas apenas de forma agregada, isto é, em conjunto com o banco de dados como um todo. Em outras palavras, asseguramos que não serão divulgadas informações de forma individualizada ou de qualquer outra forma que permita identificar o respondente - município, sistema, ETA, entidade, pessoas, etc. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo e confidencialidade, atendendo à legislação brasileira, em especial, a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde.

Os riscos envolvidos nessa pesquisa são mínimos, estando relacionados ao desconforto em prestar as informações solicitadas, e neste caso, o participante poderá se negar a dar qualquer tipo de informações que cause constrangimento ou mesmo desistir da pesquisa a qualquer momento, sem a necessidade de explicar o motivo. As respostas só serão armazenadas após a confirmação do envio ao final dos questionários. Os benefícios para o participante serão indiretos, visto que este trabalho poderá proporcionar dados relevantes sobre os fatores influentes na turbidez da água tratada nas ETAs brasileiras, contribuindo para dar visibilidade a essa questão e trazer elementos relevantes para a melhoria da qualidade da água tratada nas ETAs brasileiras.

Sua participação é voluntária, não havendo qualquer incentivo financeiro ou qualquer custo para participar da pesquisa, com a plena liberdade de recusar e participar ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem que isso acarrete em qualquer penalidade. Garantimos ainda indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa, conforme preconizado pela Res. CNS 466/2012 - item II.7. Os resultados da pesquisa estarão a sua disposição quando finalizada. Os dados e instrumentos utilizados ficarão arquivados com o pesquisador por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa, e depois desse tempo serão destruídos.

Para obter mais informações sobre esta pesquisa entrar em contato com o pesquisador (João Francisco) pelo telefone (31) 3612-1534 ou pelo e-mail: joao.pimenta@ufv.br ou com o orientador da pesquisa (Prof. Rafael Bastos) no Departamento de Engenharia Civil da UFMG, pelo telefone (31) 3612-1534 ou pelo e-mail: rkxb@ufv.br.

Em caso de discordância ou irregularidades sob o aspecto ético desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP/UFV – Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos
Universidade Federal de Viçosa - Edifício Arthur Bernardes, piso inferior Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário. Cep: 36570-900 Viçosa/MG. Telefone: (31)3612-2316. Email: cep@ufv.br.
www.cep.ufv.br

Se recebeu por e-mail e quer participar clique em "PREENCHER NO FORMULÁRIOS GOOGLE !"

*Obrigatório

1. **Se você leu este Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) e concorda em participar da pesquisa acima citada, por sua própria vontade, selecione “Concordo” abaixo e prossiga com o preenchimento do questionário. ***

Marcar apenas uma oval.

☐ Concordo

☐ Não concordo ou não tenho interesse em participar. *Pare de preencher este formulário.*

Início

Obrigado por colaborar com este estudo!

Pedimos que este questionário seja respondido por funcionários do setor administrativo/recursos humanos e solicitamos que sejam preenchidos apenas os campos correspondentes aos quais haja certeza sobre as informações fornecidas; caso contrário, favor deixá-los em branco.

Esclarecemos que este questionário se refere apenas a sistemas de abastecimento que possuam captação superficial. Assim, se seu sistema possui alguma unidade de tratamento que utilize outra forma de captação, não é necessário o respectivo cadastro.

Para dar início ou continuidade ao preenchimento do questionário, siga para PRÓXIMA seção.

Fonte de água

2. **Qual o tipo da sua fonte de água ? ***

Marcar apenas uma oval.

☐ Apenas fonte subterrânea (Ex: poço, cisterna, etc) *Ir para a pergunta 27.*

☐ Pelo menos uma fonte superficial (Ex: rio, córrego, lagoa, represa, etc)

Responsável pelo preenchimento deste formulário

Aqui você deverá cadastrar seus dados.

3. **Nome ***

Responsável pelo preenchimento

4. **Telefone ***

Responsável pelo preenchimento

5. **Cargo ***

Responsável pelo preenchimento

6. **Formação ***

Responsável pelo preenchimento

7. **email ***

Responsável pelo preenchimento

Entidade

Preencha os campos abaixo com as informações referentes à entidade prestadora do serviço de tratamento de água.

8. Nome da instituição/órgão *

9. Endereço da instituição/órgão *

10. Município *

11. Estado *

12. CEP *

13. Telefone *

Institucional

14. e-mail *

Institucional

15. Natureza jurídica da entidade *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Administração direta do município (por exemplo, secretaria municipal)
- ☐ Autarquia (por exemplo, Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE)
- ☐ Sociedade de economia mista (por exemplo, Companhias Estaduais de Saneamento)
- ☐ Empresa privada
- ☐ Empresa pública
- ☐ Consórcio público (por exemplo, consórcios intermunicipais)
- ☐ Organização social (por exemplo, ONGs ou associações comunitárias)
- ☐ Outro: _____

16. Esfera administrativa da entidade *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Federal
- ☐ Estadual
- ☐ Municipal
- ☐ Intermunicipal
- ☐ Outro: _____

Capacidade instalada (recursos humanos)

A seguir informe o grau de instrução dos funcionários de sua instituição/órgão que trabalham nesta ETA

17. Nome da ETA *

18. Número total de funcionários que trabalham
nessa ETA *

**Do total acima informado, indique o número de funcionários
por nível de escolaridade**

19. Sem ensino formal

20. Ensino de nível fundamental (1º ao 9º ano)

21. Ensino de nível médio

22. Ensino de nível técnico

23. Ensino de nível superior (graduação)

24. Indique o nível de escolaridade mínimo exigido para o pessoal que trabalha na operação
e/ou manutenção dessa ETA

Marcar apenas uma oval.

☐

Nenhum

☐

Ensino de nível fundamental (1º ao 9º ano)

☐

Ensino de nível médio (1º ao 3º ano)

☐

Ensino técnico (cursos técnicos feitos após a conclusão do ensino médio)

☐

Ensino de nível superior (graduação)

25. É realizado algum curso de
capacitação/atualização para os funcionários
da ETA? Se sim, indique a frequência.

26. Há mais de uma ETA sob responsabilidade desta entidade, neste município? *

Marcar apenas uma oval.

☐

Sim (Se sim, preencha o questionário para todas as ETA's sob responsabilidade desta entidade)

☐

Não *Ir para a pergunta 27.*

Agradecimento

27. Espaço livre para alguma observação, comentário ou sugestão:

Agradecemos a paciência e atenção no preenchimento deste questionário que representa grande contribuição para este estudo.

Segue nosso contato: João Francisco de Paula Pimenta - joao.pimenta@ufv.com - (31)3612-1534

Questionário “Técnico”

Questionário - TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS

O Sr.(a) está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa "TURBIDEZ DA ÁGUA FILTRADA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA BRASILEIRAS", desenvolvido pelo pesquisador João Francisco de Paula Pimenta e orientado pelo professor Rafael K. Xavier Bastos, do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa-UFV. Todas as informações necessárias sobre a pesquisa encontram-se relacionadas abaixo e caso haja dúvidas, favor esclarecê-las antes de confirmar o consentimento do presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE.

O objetivo geral desta pesquisa é diagnosticar o atendimento ao padrão de turbidez da água filtrada estabelecido na norma brasileira de potabilidade e identificar fatores preponderantes para eventuais dificuldades enfrentadas no cumprimento do padrão pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água do país. Tanto pela alteração dos padrões realizada em 2011, quanto para subsidiar o contínuo processo de atualização desta norma. Para alcançar o objetivo desta pesquisa estão sendo enviados dois questionários com questões específicas de cada ETA quanto suas estruturas físicas, seus equipamentos e produtos químicos, seus servidores e seus procedimentos técnicos e operacionais. Um questionário com informações do setor administrativos de recursos humanos, com tempo médio de preenchimento de 20 minutos e o segundo, com informações técnicas e estruturais das ETAs, com tempo médio de preenchimento de 40 minutos.

Enfatizamos que as informações aqui reunidas serão utilizadas unicamente para fins acadêmicos. Esclarecemos que todas as informações serão tratadas e, eventualmente, divulgadas apenas de forma agregada, isto é, em conjunto com o banco de dados como um todo. Em outras palavras, asseguramos que não serão divulgadas informações de forma individualizada ou de qualquer outra forma que permita identificar o respondente - município, sistema, ETA, entidade, pessoas, etc. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo e confidencialidade, atendendo à legislação brasileira, em especial, a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde.

Os riscos envolvidos nessa pesquisa são mínimos, estando relacionados ao desconforto em prestar as informações solicitadas, e neste caso, o participante poderá se negar a dar qualquer tipo de informações que cause constrangimento ou mesmo desistir da pesquisa a qualquer momento, sem a necessidade de explicar o motivo. As respostas só serão armazenadas após a confirmação do envio ao final dos questionários. Os benefícios para o participante serão indiretos, visto que este trabalho poderá proporcionar dados relevantes sobre os fatores influentes na turbidez da água tratada nas ETAs brasileiras, contribuindo para dar visibilidade a essa questão e trazer elementos relevantes para a melhoria da qualidade da água tratada nas ETAs brasileiras.

Sua participação é voluntária, não havendo qualquer incentivo financeiro ou qualquer custo para participar da pesquisa, com a plena liberdade de recusar e participar ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem que isso acarrete em qualquer penalidade. Garantimos ainda indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa, conforme preconizado pela Res. CNS 466/2012 - item II.7. Os resultados da pesquisa estarão a sua disposição quando finalizada. Os dados e instrumentos utilizados ficarão arquivados com o pesquisador por um período de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa, e depois desse tempo serão destruídos.

Para obter mais informações sobre esta pesquisa entrar em contato com o pesquisador (João Francisco) pelo telefone (31) 3612-1534 ou pelo e-mail: joao.pimenta@ufv.br ou com o orientador da pesquisa (Prof. Rafael Bastos) no Departamento de Engenharia Civil da UFMG, pelo telefone (31) 3612-1534 ou pelo e-mail: rkxb@ufv.br.

Em caso de discordância ou irregularidades sob o aspecto ético desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP/UFV – Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos
Universidade Federal de Viçosa - Edifício Arthur Bernardes, piso inferior Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário. Cep: 36570-900 Viçosa/MG. Telefone: (31)3612-2316. Email: cep@ufv.br.
www.cep.ufv.br

Se recebeu por e-mail e quer participar clique em "PREENCHER NO FORMULÁRIOS GOOGLE !"

***Obrigatório**

1. Se você leu este Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) e concorda em participar da pesquisa acima citada, por sua própria vontade, selecione “Concordo” abaixo e prossiga com o preenchimento do questionário. *

Marcar apenas uma oval.

☐ Concordo

☐ Não concordo ou não tenho interesse em participar. Pare de preencher este formulário.

Início

Obrigado por colaborar com este estudo!

Pedimos que este questionário seja respondido preferencialmente pelo engenheiro ou técnico responsável pela estação e solicitamos que sejam preenchidos apenas os campos correspondentes aos quais haja certeza sobre as informações fornecidas; caso contrário, favor deixá-los em branco.

Esclarecemos que este questionário se refere apenas a sistemas de abastecimento que possuam captação superficial. Assim, se seu sistema possui outra forma de captação, não é necessário o respectivo cadastro.

Para dar início ou continuidade ao preenchimento do questionário, siga para PRÓXIMA seção.

Fonte de água

2. Qual o tipo da sua fonte de água? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Apenas fonte subterrânea (Ex: poço, sistema, etc) Ir para a pergunta 89.

☐ Pelo menos uma fonte superficial (Ex: rio, córrego, lagoa, represa, etc)

Responsável pelo preenchimento deste formulário

Aqui você deverá cadastrar seus dados. Estes dados serão utilizados para possível contato dos pesquisadores e não serão compartilhados ou divulgados.

3. Nome *

Responsável pelo preenchimento

4. Telefone *

Responsável pelo preenchimento

5. Cargo *

Responsável pelo preenchimento

6. Formação *

Responsável pelo preenchimento

7. e-mail *

Responsável pelo preenchimento

Estações de Tratamento de Água (ETAs)

Preencha os campos abaixo com as informações referentes as ETAs sob responsabilidade da sua entidade prestadora do serviço de abastecimento de água.

8. Número de ETAs com captação em mananciais superficiais *

ETA 1

Preencha os campos abaixo com as informações referentes à ETA 1.

9. Nome da ETA *

10. Bairro/Localidade *

11. População atendida por esta ETA

12. Vazão de projeto (L/s)

13. Vazão mais frequente (L/s) *

14. Vazão mínima praticada (L/s)

15. Vazão máxima praticada (L/s)

16. A ETA 1 sofreu alguma alteração estrutural nos últimos cinco anos? Se sim, qual?

Mananciais - ETA 1

Informações sobre o manancial de abastecimento da ETA. Para ETAs abastecidas por mais de um manancial, informar os dados do manancial principal.

17. Nome do Manancial *

18. Tipo de manancial *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Superficial
- ☐ Subterrâneo

19. Forma de Captação *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Captação direta ou a fio d'água
- ☐ Captação com barramento

20. Vazão outorgada (L/s)

Vazão autorizada pelo órgão ambiental (estadual ou federal) para captação no recurso hídrico.

21. Vazão mínima (L/s)

22. Vazão mais frequente (L/s)

23. Espaço para, se achar necessário, comentar sobre o manancial de abastecimento da ETA 1.

Para ETAs abastecidas por mais de um manancial, informar os dados do manancial principal.

24. A ETA 1 possui mais de um manancial? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim (Se sim, preencha também para seu outro manancial)
- ☐ Não Ir para a pergunta 25.

Análise de Protozoários - Mananciais

25. Já foi realizada análise de protozoários (Giardia e Cryptosporidium) em algum destes mananciais? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não Ir para a pergunta 31.

Análise de Protozoários - Mananciais

26. Em quais mananciais já foram realizadas análises de protozoários (Giardia e Cryptosporidium) ?

27. Indique a frequência de realização das análises de protozoários nestes mananciais*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Quinzenal
- ☐ Mensal
- ☐ Semestral
- ☐ Anual
- ☐ Outro: _____

28. Qual é a data da última análise realizada ? **Exemplo: 15 de dezembro de 2012***29. Qual o valor da última análise realizada ? ***

30. Algum comentário sobre as análises de protozoários nos mananciais?

Tratamento - ETA1

Etapas de tratamento presentes na ETA 1

31. A ETA 1 possui a etapa de mistura rápida / coagulação? *

Mistura rápida : Operação destinada a dispersar produtos químicos na água a ser tratada, em particular no processo de coagulação.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não *Ir para a pergunta 41.*

Mistura Rápida / Coagulação - ETA 1

Preencha os campos abaixo com informações referentes às unidades de mistura rápida presentes na ETA 1.

Caso haja unidades iguais em paralelo nessa etapa do tratamento, não é necessário o cadastro de cada uma de forma separada. Ao preencher o campo "Número de unidades", as informações referentes a cada uma das unidades repetidas serão computadas automaticamente.

32. Número de unidades iguais de mistura rápida

33. Tipo de unidade de mistura rápida*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Calha Parshall
- ☐ Canal com vertedor
- ☐ Mecanizado
- ☐ Difusor em tubulação
- ☐ Outro: _____

34. Coagulante utilizado

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Sulfato de alumínio
- ☐ Cloreto férrico
- ☐ PAC
- ☐ Polímeros
- ☐ Outro: _____

35. Se a ETA utiliza mais de um tipo de coagulante, descreva as situações envolvidas na adoção dos diferentes coagulantes.

36. Forma do coagulante

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Líquido
- ☐ Granulado (Sólido)

37. Forma como é feita a dosagem do coagulante

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Bomba dosadora
- ☐ Dosador de nível
- ☐ Outro: _____

38. Dose média de coagulante utilizada na época de chuva (mg/L)

39. Dose média de coagulante utilizada na época de estiagem (mg/L)

40. Há uma unidade de mistura rápida / coagulação diferente da cadastrada acima?

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim (Se sim, preencha para sua(s) outra(s) unidade(s) de mistura rápida)
- ☐ Não *Ir para a pergunta 41.*

Tratamento - ETA1

41. A ETA 1 possui etapa de floculação? *

Floculadores : São unidades utilizadas para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não *Ir para a pergunta 48.*

Floculação - ETA 1

Preencha os campos abaixo com informações referentes às unidades de floculação presentes na ETA 1.

Caso haja unidades iguais em paralelo nessa etapa do tratamento, não é necessário o cadastro de cada uma de forma separada. Ao preencher o campo "Número de unidades", as informações referentes a cada uma das unidades repetidas serão computadas automaticamente.

42. Número de floculadores iguais em paralelo

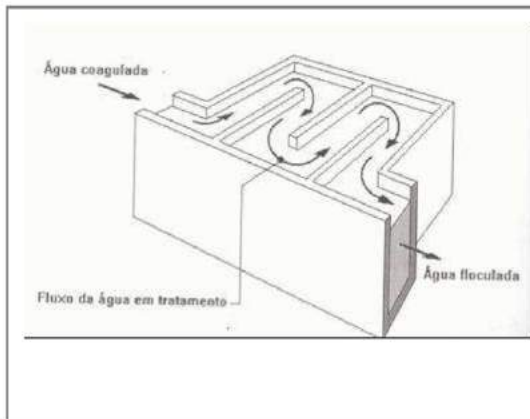
43. Tipo de floculador

Marcar apenas uma oval.

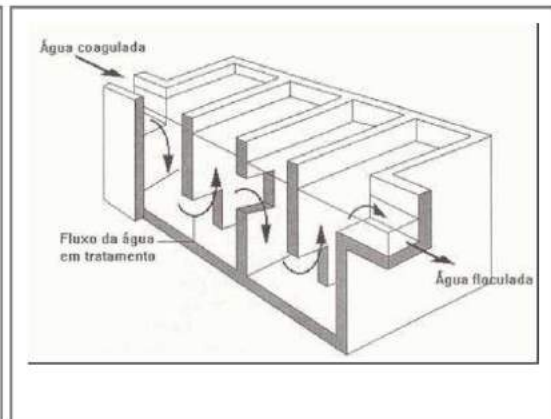
- ☐ Hidráulico
- ☐ Mecanizado

44. Tipo do floculador

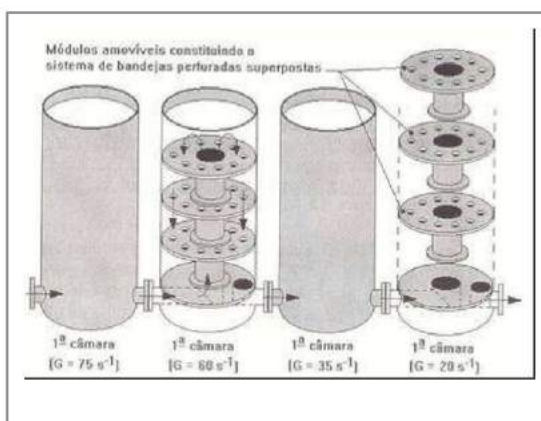
Marcar apenas uma oval.



☐ Floculador de chicanas



☐ Floculador tipo Cox



☐ Floculador de bandejas perfuradas

☐ Outro:

45. Volume total da unidade (m³)

46. Número de câmaras de cada floculador:

47. Há uma unidade de floculação diferente da cadastrada acima?

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim (Se sim, preencha para sua(s) outra(s) unidade(s) de floculação)
- ☐ Não *Ir para a pergunta 48.*

Tratamento - ETA1**Decantação****48. A ETA 1 possui a etapa de decantação? ***

Decantadores: São unidades destinadas à remoção de partículas presentes na água, pela ação da gravidade. Podem ser convencionais, ou de baixa taxa, e de elementos tubulares, ou de alta taxa.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não *Ir para a pergunta 57.*

Decantação - ETA 1

Preencha os campos abaixo com informações referentes às unidades de decantação presentes na ETA 1.

Caso haja unidades iguais em paralelo nessa etapa do tratamento, não é necessário o cadastro de cada uma de forma separada. Ao preencher o campo "Número de unidades", as informações referentes a cada uma das unidades repetidas serão computadas automaticamente.

49. Número de decantadores iguais em paralelo

50. Tipo de decantação

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Convencional
- ☐ Alta taxa (decantação laminar ou lamelar)
- ☐ Outro: _____

51. Tipo de decantador

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Retangular
- ☐ Circular
- ☐ Placas paralelas
- ☐ Dutos (tubos)
- ☐ Outro: _____

52. Área superficial (m²)

53. Volume (m³)

54. Tipo de limpeza*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Manual
- ☐ Mecanizada

55. Frequência de limpeza do decantador (remoção do lodo)*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Diária
- ☐ Semanal
- ☐ Quinzenal
- ☐ Mensal
- ☐ Trimestral
- ☐ Semestral
- ☐ Anual
- ☐ Outro: _____

56. Há uma unidade de decantação diferente da cadastrada acima?*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Sim (Se sim, preencha para sua(s) outra(s) unidade(s) de decantação)
- ☐ Não *Ir para a pergunta 57.*

Tratamento - ETA1**Flotação****57. A ETA 1 possui a etapa de flotação? ***

Flotação: Alternativa para a decantação, a flotação separa líquidos de sólidos com nuvens de microbolhas de ar que arrastam as impurezas em suspensão para a superfície.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não *Ir para a pergunta 63.*

Flotação - ETA 1

Preencha os campos abaixo com informações referentes às unidades de flotação presentes na ETA 1.

Caso haja unidades iguais em paralelo nessa etapa do tratamento, não é necessário o cadastro de cada uma de forma separada. Ao preencher o campo "Número de unidades", as informações referentes a cada uma das unidades repetidas serão computadas automaticamente.

58. Número de flotadores iguais em paralelo

59. Tipo de flotador

60. Área superficial(m²)

61. **Volume(m³)**

62. **Há uma unidade de flotação diferente da cadastrada acima?**

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim (Se sim, preencha para sua(s) outra(s) unidade(s) de flotação)
- ☐ Não *Ir para a pergunta 63.*

Tratamento - ETA1

Filtração

63. **A ETA 1 possui a etapa de filtração? ***

Filtros : São unidades destinadas a remover partículas em suspensão, em caso de a água a tratar ser submetida a processo de coagulação.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não *Ir para a pergunta 73.*

Filtração - ETA 1

Preencha os campos abaixo com informações referentes às unidades de filtração presentes na ETA 1.

Caso haja unidades iguais em paralelo nessa etapa do tratamento, não é necessário o cadastro de cada uma de forma separada. Ao preencher o campo "Número de unidades", as informações referentes a cada uma das unidades repetidas serão computadas automaticamente.

64. **Número de filtros iguais em paralelo**

65. **Tipo de filtração**

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Filtração rápida (ciclo completo)
- ☐ Filtração direta (sem decantação ou flotação)
- ☐ Filtração lenta (apenas filtração)
- ☐ Filtração em areia grossa + Filtração em pedregulho + Filtração lenta
- ☐ Filtração em múltiplas etapas
- ☐ Outro: _____

66. **Tipo de fluxo**

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Ascendente
- ☐ Descendente
- ☐ Outro: _____

67. Tipo de meio filtrante*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Camada simples (apenas areia)
- ☐ Camada dupla (areia + antracito)
- ☐ Outro: _____

68. Área superficial de cada filtro (m²)

69. Critério adotado para retirada de operação dos filtros para limpeza*Marque todas que se aplicam.*

- ☐ Perda de carga (limite para o aumento do nível de água)
- ☐ Turbidez da água filtrada
- ☐ Experiência do operador
- ☐ Pré- programado
- ☐ Outro: _____

70. Tipo de controle no processo de filtração e lavagem dos filtros*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Manual (manobra de registro)
- ☐ Automático (painel de controle)
- ☐ Outro: _____

71. Método de limpeza do material filtrante*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Retrolavagem só com água
- ☐ Retrolavagem com ar e água
- ☐ Limpeza manual + retrolavagem com água
- ☐ Outro: _____

72. Há uma unidade de filtração diferente da cadastrada acima?*Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Sim (Se sim, preencha para sua(s) outra(s) unidade(s) de filtração)
- ☐ Não *Ir para a pergunta 73.*

Tratamento - ETA1

Desinfecção

73. A ETA 1 possui a etapa de desinfecção? **Marcar apenas uma oval.*

- ☐ Sim
- ☐ Não *Ir para a pergunta 77.*

Desinfecção - ETA 1

74. Qual o agente desinfetante utilizado? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Cloro granulado (Hipoclorito de Cálcio)
- ☐ Cloro líquido (Hipoclorito de Sódio)
- ☐ Cloro Gás
- ☐ Cloramina
- ☐ Dióxido de Cloro
- ☐ Luz UV
- ☐ Ozônio
- ☐ Outro: _____

75. Qual o volume do tanque de contato ?

76. Qual o residual médio verificado?

Indicar unidade

Análises de Turbidez

Informe os pontos de análise de turbidez, sua frequência, método e equipamento utilizado nas medições.

Frequência (ex.: horária, a cada duas horas, diária, semanal, mensal) de análise de turbidez no sistema:

77. Frequência de análise na chegada da estação (água bruta) *

78. Frequência de análise da água decantada *

79. Frequência de análise da água filtrada *

80. Frequência de análise da água após a desinfecção *

81. Frequência de análise da água na entrada do sistema de distribuição *

82. Caso haja outro ponto de análise de turbidez na ETA indique abaixo

83. Indique o tipo, marca e modelo do equipamento utilizado para a análise de turbidez
-

Atendimento aos padrões de potabilidade (turbidez da água filtrada)

84. Comente sobre facilidades encontradas no atendimento aos limites de turbidez estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde
-

85. Comente sobre dificuldades encontradas no atendimento aos limites de turbidez estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde
-

86. Com que frequência o valor da turbidez da água filtrada de sua ETA ultrapassa o limite estabelecido pela Portaria MS nº 2914/2011 (tabela abaixo)? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Frequentemente
☐ Raramente
☐ Nunca

Portaria nº 2914/2011: Tabela de padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção

Tratamento da água	Valor Máximo Permitido (VMP)
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras

Adequação à portaria

Caso o valor da turbidez da água tratada de sua ETA ultrapasse, frequentemente, o limite estabelecido pela Portaria MS nº 2914/2011 (tabela abaixo), indique, na sua opinião, que medidas seriam necessárias para aumentar a eficiência de remoção de turbidez.

87. Indique, na sua opinião, que medidas seriam necessárias para aumentar a eficiência de remoção de turbidez.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Estruturais (ex.: obras de ampliação)
☐ Capacitação de operadores (ex.: cursos e palestras)
☐ Disponibilidade de funcionários (ex.: aumento do número de funcionários)
☐ Disponibilidade de equipamentos de qualidade (ex.: bomba dosadora)
☐ Disponibilidade de material de qualidade (ex.: coagulante)
☐ Adequação da técnica de tratamento (ex.: implementar decantação)
☐ Outro: _____

88. Há mais de uma ETA sob responsabilidade desta entidade, neste município? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim (Se sim, preencha o questionário para todas as ETA's sob responsabilidade desta entidade)

☐ Não *Ir para a pergunta 89.*

Agradecimento

89. Espaço livre para alguma observação, comentário ou sugestão:

Agradecemos a paciência e atenção no preenchimento deste questionário que representa grande contribuição para este estudo.

Segue nosso contato: João Francisco de Paula Pimenta - joao.pimenta@ufv.com - (31)3612-1534

Powered by



Google Forms