



## COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO E NO FINAL DE TRATAMENTO

Sergio Augusto Rodrigues<sup>1</sup>, Paulo Andre de Oliveira<sup>2</sup>, Lilian Cristina Trevizan<sup>3</sup> & Carlos Roberto Padovani<sup>4</sup>

**RESUMO:** Sabendo que a água é um recurso natural essencial para as atividades humanas, estudos relacionados com seu uso racional e sustentável tornam-se fundamentais. Destinada ao consumo humano, a água deve apresentar características físicas, químicas e microbiológicas não prejudiciais à saúde, as quais são delimitadas por órgãos de saúde pública e caracterizadas como padrões de potabilidade. Assim, esta pesquisa teve como objetivo caracterizar a qualidade da água, avaliando características físico-químicas e microbiológicas que merecem consideração para o monitoramento ao analisar amostras diárias em pontos sorteados da rede de distribuição e em final de tratamento de um município do estado de São Paulo, no período de 2007 a 2011. Foram avaliados os parâmetros: residuais de cloro, pH, turbidez, cor aparente, flúor, temperatura da água, ocorrência de coliformes totais e bactérias heterotróficas. Para comparar a qualidade da água na rede de distribuição com sua qualidade na saída dos reservatórios (final de tratamento), considerando simultaneamente todas as variáveis envolvidas, utilizou-se técnicas de análise multivariada, mais especificamente, o teste  $T^2$  de Hotelling. Pretendeu-se aprofundar e melhorar a qualidade das informações e, também oferecer um procedimento metodológico não usual na área envolvida. Os resultados apontaram que o padrão de qualidade da água não se alterou entre o final de tratamento até a rede de distribuição (cavaletes das residências), destacando-se também, que esse procedimento multivariado pode ser utilizado como uma técnica de avaliação do padrão de qualidade da água nos diversos municípios e empresas de saneamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estatística multivariada, características físico-químicas, características climáticas.

### WATER FOR CONSUMPTION QUALITY COMPARISON IN BOTH DISTRIBUTION NETWORK AND FINAL TREATMENT RESERVOIRS

**ABSTRACT:** Knowing that water is a key natural resource for human activities, studies related to the rational and sustainable use become crucial. Intended for human consumption, the water must have physical, chemical and microbiological characteristics not prejudicial to health, which are defined by public health agencies and characterized as potability standards. Thus, this study aimed to characterize water quality, assessing physical, chemical and microbiological characteristics and monitor it by analyzing daily samples in randomly selected points in the distribution network and the end of treatment of a municipality of Sao Paulo state in the period of 2007 to 2011. We evaluated the following parameters: residual chlorine, pH, turbidity, apparent color, fluoride, water temperature, occurrence of total coliform, and heterotrophic bacteria. To compare water quality in the distribution network with its quality in the reservoirs (end of treatment), while considering all the variables involved, we used multivariate analysis techniques, more specifically, the Hotelling's  $T^2$  test. We intended to increase the knowledge on water quality, improve the quality of information and also offer an unusual methodological procedure in this area. The results showed that the standard of water quality did not change from the end of treatment up until the distribution network (easels residences). The multivariate procedure tested in this study can be used as an evaluation technique toward water quality pattern in various municipalities and sanitation companies.

**KEYWORDS:** Multivariate procedure, physicochemical characteristics, climatic characteristics.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para as atividades humanas. É imperativo seu uso racional e sustentável nas áreas urbanas e rurais, já que sua utilização inadequada e facilidade de apresentar sua qualidade comprometida pela poluição, pode promover escassez em quantidade e qualidade.

Neste contexto, destaca-se também a importância da disponibilidade de água para a produtividade agrícola,

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu (Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia). E-mail: [sergioar@fca.unesp.br](mailto:sergioar@fca.unesp.br)

<sup>2</sup> Centro Estadual Paula Souza (CEETPS), Faculdade de Tecnologia de Botucatu (FATEC). E-mail: [poliveira@fatecbt.edu.br](mailto:poliveira@fatecbt.edu.br)

<sup>3</sup> SABESP Botucatu. Divisão de Controle Sanitário-SABESP Botucatu. E-mail: [lfelipe@sabesp.com.br](mailto:lfelipe@sabesp.com.br)

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu (Departamento de Bioestatística). E-mail: [bioestatistica@ibb.unesp.br](mailto:bioestatistica@ibb.unesp.br)

tanto entre culturas de característica alimentar quanto de produção de energias renováveis.

Para o abastecimento urbano, sabendo-se que a água é uma possível fonte de transmissão de doenças, as estações de tratamento de água dos municípios são essenciais para garantir a potabilidade da água e, conseqüentemente, evitar contaminações e disseminação de doenças.

Antes de chegar ao consumo humano, a água pode conter impurezas e características físicas, químicas e microbiológicas que diferem dos padrões delimitados por órgãos de saúde pública. Por isso, deve passar por um processo de tratamento até alcançar os níveis adequados ao consumo humano. De acordo com Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006a) aproximadamente 13% da disponibilidade mundial de água doce encontra-se em território brasileiro, constituindo-se em um grande potencial de recursos hídricos a ser explorado.

No entanto, essa ideia de abundância gerou uma cultura de uso não sustentável da água de rios e lagos. Soma-se a isso, o fato de a disponibilidade hídrica não ser homogênea em todo território, tanto em termos de disponibilidade para o consumo, irrigação e outras atividades, quanto em termos de potencial para geração de energia elétrica. Enquanto na Região Amazônica, habitada por 5% da população brasileira, concentram-se 73% da água doce do país, nas demais regiões observa-se que 27% dos recursos hídricos estão disponíveis com maior facilidade de acesso para 95% da população. Já mais precisamente, no Sul e Sudeste, com aproximadamente 32% da população brasileira, tem-se apenas 6% da água doce superficial disponível (BRASIL, 2006b; BRASIL, 2013).

Em relação ao tratamento de água, observa-se que não há uma uniformidade entre as regiões brasileiras, apresentando alguns tipos de contrastes, tais como o percentual de domicílios atendidos por rede de distribuição de água tratada, totalizando 87,5% dos domicílios da região Sudeste e 58,7% da região Nordeste (BRASIL, 2013).

Existem vários estudos na literatura relacionados com recursos naturais e o meio ambiente, em especial a caracterização da qualidade da água disponível para o consumo humano. Destacam-se Queiroz, Heller e Silva (2009), que utilizaram o modelo de regressão linear simples e múltipla para identificar possíveis associações entre as variáveis de qualidade da água para consumo humano e a observação de casos de diarreia, verificando que a ocorrência de diarreia apresenta associações significativas com a turbidez, com os coliformes totais e com os termotolerantes. Já Oliveira et. al. (2012a) apresentaram um estudo com dados de variáveis físico-químicas e microbiológicas de amostra de água coletadas nas torneiras, antes do armazenamento domiciliar, para examinar a qualidade da água para o consumo humano na rede de distribuição, certificando-se que todos os parâmetros analisados estão dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação, ou seja, a água

distribuída no município em questão é apropriada ao consumo.

Para avaliar os efeitos dos reservatórios domiciliares nas variáveis físico-químicas e microbiológicas da água distribuída na cidade de Recife-PE, amostras de água foram coletadas na estação de tratamento, na rede de distribuição e na saída dos reservatórios domiciliares, verificando que o armazenamento domiciliar é um fator deteriorador da qualidade de água (FREIRE, 2012). Já Freire e Castro (2014), aplicam um procedimento multivariado envolvendo a técnica de correlação canônica na pesquisa da associação entre o uso e a ocupação do solo e a qualidade da água da bacia hidrográfica no rio Itapemirim, no estado do Espírito Santo em um período de seca. Verificam que os locais com uma maior atividade humana se associam com um índice de degradação da qualidade de água mais elevado.

No contexto da água para o consumo humano, o monitoramento da qualidade em todo o sistema de distribuição é realizado por empresas de saneamento básico em vários municípios paulistas. Para isso, realizam-se diariamente a coleta de amostras de água em pontos sorteados da rede de distribuição e nas estações de tratamentos (ETA). Entre as variáveis analisadas, quanto aos aspectos físico-químicos e microbiológicos da água, destacam-se: residuais de cloro, turbidez, cor, flúor, pH, temperatura da água, ocorrência de coliformes totais e o número de unidades formadoras de colônias de bactérias heterotróficas. A avaliação destes parâmetros em todo o sistema de distribuição nos municípios é de extrema importância para garantir uma água de qualidade para a população e um aprofundamento a respeito do comportamento destas variáveis pode contribuir para a melhoria das técnicas de tratamento e monitoramento da qualidade da água.

No entanto, conforme se verifica na literatura, estudar estas variáveis de forma independente não se configura como melhor procedimento de análise estatística de dados. Nos casos onde há uma estrutura de relacionamento simultâneo entre as variáveis, utilizar técnicas multivariadas constitui-se em uma alternativa própria para a análise exploratória e procedimento inferencial. Pautado nisto, objetivou-se neste trabalho comparar o comportamento das variáveis físico-químicas e microbiológicas da água na rede de distribuição com o final de tratamento (saída dos reservatórios), considerando-se simultaneamente todas as variáveis, por meio de uma ferramenta metodológica estatística não usual na área, mas que pode melhorar a qualidade das informações geradas pelos dados disponíveis.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em um município do interior do estado de São Paulo a partir de banco de dados relativos às características físico-químicas e microbiológicas da água no período de janeiro 2007 a dezembro de 2011.

Para a rotina do monitoramento da qualidade da água, as variáveis residuais de cloro (CRL), pH, turbidez (TURB), cor aparente (CORAP), flúor (F), temperatura

da água (T), unidades formadoras de bactérias heterotróficas (HET) e ocorrência de coliformes totais (CT) são analisadas diariamente pela empresa responsável pela captação, tratamento e distribuição da água. O controle da qualidade da água é realizado em todo sistema de abastecimento do município, por meio de amostras diárias coletadas em pontos selecionados aleatoriamente na rede de distribuição, além de amostras coletadas na saída dos reservatórios, ou melhor, coletas realizadas após o tratamento da água realizado pela Estação de Tratamento. A quantificação dos valores numéricos das variáveis que trazem informações a respeito da qualidade da água foi realizada no laboratório de controle sanitário da própria empresa. No presente estudo considera-se a qualidade da água definida por estes parâmetros estabelecidos dentro dos limites da Portaria 518/04 (BRASIL, 2004), acrescida da mensuração da variável temperatura da água, a qual não pode ser controlada, no entanto, deve ser monitorada para possíveis ações de minimização do risco de presença de bactérias.

A fim de compatibilização com o objetivo do estudo, foi organizado um banco de dados formado pelas médias mensais de todas as variáveis, totalizando 60 meses considerados como unidades amostrais independentes.

A comparação da qualidade da água observada em dois locais (chamados de grupos) distintos do sistema de abastecimento (rede de distribuição e final de tratamento) foi realizada por meio do procedimento estatístico de análise multivariada, considerando simultaneamente todas as variáveis e toda a estrutura de variação existente nos dados, conhecido como teste  $T^2$  de Hotelling, complementada com a construção dos intervalos de confiança simultâneos para contraste entre pares de médias (JOHNSON; WICHERN, 2007 e HAIR JUNIOR et al., 2009). Todos os resultados analíticos foram discutidos no nível de 5% de significância. Para os cálculos e execução do teste foi utilizado o software livre R-Gui (R CORE TEAM...,2012).

O teste  $T^2$  de Hotelling consiste em uma generalização do procedimento univariado (teste t de Student) para testar hipóteses a respeito da média de uma variável com distribuição normal, avaliada em dois grupos independentes. Quando várias variáveis são avaliadas com o interesse de compará-las em duas populações multivariadas, deve-se considerar toda a estrutura de variação existente dentro e entre estas variáveis. Desta forma, torna-se necessário um teste para comparação de dois vetores de médias, situação que exige a estatística  $T^2$  de Hotelling (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Considerando como Grupo 1 as observações das características de qualidade da água na rede de distribuição e, Grupo 2 no final de tratamento, o vetor aleatório de dimensão  $p$  do  $i$ -ésimo grupo é representado por  $X_i = [X_{i1} \ X_{i2} \ \dots \ X_{ip}]$ , onde para este estudo  $p = 8$  (variáveis de qualidade da água e temperatura) e  $i = 1$  ou  $2$  ( $i = 1$ , rede;  $i = 2$ , final de tratamento).

Sendo  $\mu_1$  e  $\mu_2$  os vetores  $p$ -dimensionais de médias populacionais dos grupos 1 e 2 respectivamente, as hipóteses estatísticas sobre a igualdade de respostas dos grupos são dadas por

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \mathbf{0} \quad \text{e} \quad H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \mathbf{0}$$

sendo  $\mathbf{0}$  um vetor nulo  $p$ -dimensional.

Uma suposição necessária para a realização do teste  $T^2$  de Hotelling é que o vetor aleatório  $X_i$  tenha aderência a uma distribuição normal multivariada com vetor de valores esperados  $\mu'_i = (\mu_{i1} \ \dots \ \mu_{ip})$  e matriz de variância-covariância não singular dada por:

$$\Sigma_{i \ p \times p} = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^{(i)} & \sigma_{12}^{(i)} & \dots & \sigma_{1p}^{(i)} \\ \sigma_{21}^{(i)} & \sigma_{22}^{(i)} & \dots & \sigma_{2p}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1}^{(i)} & \sigma_{p2}^{(i)} & \dots & \sigma_{pp}^{(i)} \end{bmatrix} \quad \text{para } i = 1 \text{ ou } 2.$$

Segundo Mardia (1974) este teste é robusto a não normalidade quando os dados têm distribuições aproximadamente simétricas, ou seja, a falta de normalidade não afeta a conclusão do teste.

Considerando amostras aleatórias independentes das  $p$  variáveis para os dois grupos, o vetor de médias do grupo  $i$  pode ser estimado por  $\bar{x}'_i = (\bar{x}_{i1} \ \dots \ \bar{x}_{ip})$  sendo que cada componente é obtido, para  $k = 1, \dots, p$  e  $i = 1$  ou  $2$ , pela equação (1).

$$\bar{x}_{ik} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ijk}, \quad (1)$$

Já a matriz de variância-covariância do grupo  $i$  pode ser

$$\text{estimada por } S_{i \ p \times p} = \begin{bmatrix} s_{11}^{(i)} & s_{12}^{(i)} & \dots & s_{1p}^{(i)} \\ s_{21}^{(i)} & s_{22}^{(i)} & \dots & s_{2p}^{(i)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1}^{(i)} & \dots & \dots & s_{pp}^{(i)} \end{bmatrix} \quad \text{onde}$$

$$s_{kk}^{(i)} = \left( \sum_{j=1}^{n_i} x_{ijk}^2 - n_i \bar{x}_{ik}^2 \right) (n_i - 1)^{-1}$$

$$s_{kk'}^{(i)} = \left( \sum_{j=1}^{n_i} x_{ijk} x_{ijk'} - n_i \bar{x}_{ik} \bar{x}_{ik'} \right) (n_i - 1)^{-1},$$

para  $k \neq k'$  e  $i = 1, 2$ .

Duas situações quanto à estrutura geral de variabilidade devem ser observadas para realização deste teste: quando as matrizes de variância-covariância dos dois grupos são consideradas iguais e quando são consideradas desiguais. Para isso, há necessidade de realizar um teste multivariado de homogeneidade de matrizes de variâncias-covariâncias, tal como o teste de Box, apresentado em Johnson e Wichern (2007).

Considerando a situação na qual as matrizes de variâncias-covariâncias são iguais, ou seja,  $\Sigma_1 = \Sigma_2$ , a

estatística de teste dos vetores de médias é dada pela equação (2).

$$T^2 = [(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)]' \left[ \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) S \right]^{-1} [(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)] \quad (2)$$

$$\text{com } S = \frac{(n_1-1)S_1 + (n_2-1)S_2}{n_1 + n_2 - 2}.$$

A regra de decisão é baseada no quantil de ordem  $100(1 - \alpha)\%$  da distribuição F, sob a veracidade de  $H_0$ , ou seja, se o valor da estatística  $T^2$  for maior que

$$\frac{(n_1 + n_2 - 2)p}{n_1 + n_2 - p - 1} F_{(\alpha, p, n_1 + n_2 - p - 1)},$$

a hipótese inicial  $H_0(\mu_1 = \mu_2)$  deve ser rejeitada.

A situação na qual as matrizes de variâncias-covariâncias são desiguais, ou seja,  $\Sigma_1 \neq \Sigma_2$ , a estatística  $T^2$  de Hotelling para os vetores de médias é dada pela equação (3).

$$T^2 = [(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)]' \left[ \frac{1}{n_1} S_1 + \frac{1}{n_2} S_2 \right]^{-1} [(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)]. \quad (3)$$

A hipótese inicial  $H_0(\mu_1 = \mu_2)$  é rejeitada quando o valor calculado da estatística  $T^2$  é superior ao quantil de ordem  $100(1 - \alpha)\%$  da distribuição de probabilidade qui-quadrado dado por  $\chi^2_{(\alpha, p)}$ .

Caso a hipótese inicial de igualdade dos vetores de médias ( $H_0$ ) seja rejeitada, os intervalos de confiança simultâneos (ICS) tornam-se interessantes.

Neste sentido, o ICS de Hotelling para as diferenças entre os componentes dos vetores de médias na situação em que  $\Sigma_1 = \Sigma_2$ , com limites de  $100(1 - \alpha)\%$  de confiança são estabelecidos por (4):

$$ICS[\mathbf{a}'(\mu_1 - \mu_2)] = \mathbf{a}'(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm \sqrt{\frac{(n_1 + n_2 - 2)p}{n_1 + n_2 - p - 1} F_{(\alpha, p; \gamma)} \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \mathbf{a}' S \mathbf{a}} \quad (4)$$

com  $\gamma = n_1 + n_2 - p - 1$  e  $\mathbf{a}' = [a_1, a_2, \dots, a_p]$  um vetor indicador, o qual é composto por 0's e 1, sendo que o número 1 assume a posição que indica a diferença de médias de interesse.

Na situação em que  $\Sigma_1 \neq \Sigma_2$ , o ICS de Hotelling é expresso por (5).

$$ICS[\mathbf{a}'(\mu_1 - \mu_2)] = \mathbf{a}'(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm \sqrt{\chi^2_{(\alpha, p)} \mathbf{a}' \left( \frac{1}{n_1} S_1 + \frac{1}{n_2} S_2 \right) \mathbf{a}} \quad (5)$$

Os resultados dos intervalos de confiança simultâneos de Hotelling para as diferenças entre os componentes dos vetores de médias indicam a existência de diferença entre os componentes dos dois grupos quando o valor zero não está dentro do intervalo, caso contrário, não é possível dizer que há uma diferença significativa.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE DESCRITIVA E PADRÕES DE POTABILIDADE

Um resumo descritivo, por meio de medidas estatísticas como a média, a mediana, os quartis, o desvio padrão e os valores mínimo e máximo das variáveis relacionadas com as características físico-químicas e microbiológicas da água na rede de distribuição e no final de tratamento foram determinadas, considerando os 60 meses do período de janeiro de 2007 a dezembro de 2011, e apresentadas nas Tabelas 02 e 03.

Comparando os resultados obtidos (Tabelas 02 e 03) com os padrões de qualidade estabelecidos pela portaria, apresentados na Tabela 01, percebe-se que, em média, todas as variáveis estão de acordo com a legislação, tanto nas amostras de água coletadas na rede de distribuição quanto no final de tratamento.

**Tabela 1 - Padrões de potabilidade estabelecidas na legislação – Portaria 518/04**

Variáveis	Limites da portaria
TURB	Max. 1,0 uT em 95% das amostras, não podendo ser superior a 5,0 uT
CORAP	Max 15 UC
F	Max 1,5 mg/L
CRL	0,5 a 2,0 mg/L
pH	6,0 a 9,5
HET	Max 500 UFC/ml
CT	Ausência de no mínimo de 95% das amostras analisadas no mês

No entanto, nota-se, pela Tabela 02, que a variável HET apresentou, em final de tratamento, um valor máximo acima do estabelecido pela legislação, resultando em uma média bastante elevada (13,02). Recorrendo aos dados mensais desta variável, observou-se, em julho de 2008, uma média de 117,72 UFC/ml, fato relacionado com uma amostra coletada neste mês apresentando valor superior a 5700 UFC/ml. O mesmo aconteceu, mas com menor grau de intensidade, nos meses de novembro e dezembro de 2009 para análises realizadas na rede de distribuição, levando a um distanciamento entre a média e a mediana (Tabela 03).

Este tipo de situação, quando ocorre pontualmente em amostras isoladas, a Portaria 518/04 estabelece que seja necessário realizar a limpeza dos reservatórios, eliminando as possíveis causas desta ocorrência (BRASIL, 2004).

Observa-se também, tanto na rede de distribuição quanto em final de tratamento, que o valor mínimo de proporção de amostras com ausência de coliformes totais foi inferior ao estabelecido pela legislação (0,830 e 0,867 respectivamente). Siqueira et al (2010) descrevem que não há uma limitação para a quantidade de coliformes totais presentes na água potável, porém a legislação (Portaria 518/04) indica a necessidade de se tomar providências imediatas de caráter preventivo e corretivo,

caso seja observada a presença de coliformes totais. Destacam ainda que, do ponto de vista microbiológico, a ausência de coliformes totais e termotolerantes em amostras de 100 ml de água para consumo é condição necessária para que seja considerada potável.

Ademais, comparando os valores das médias e das medianas nos dois grupos (Rede de distribuição e final de tratamento), verifica-se que os mesmos estão bastante próximos, indicando que os dados são aproximadamente simétricos, apesar da diferença na variável bactérias heterotróficas (HET).

**Tabela 2** - Medidas de posição das variáveis de qualidade da água avaliadas na rede de distribuição.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Q1	Mediana	Q3	Mín.	Máx.
TURB	0,713	0,327	0,450	0,681	0,928	0,234	1,623
CORAP	7,009	2,087	5,451	6,361	7,969	5,000	15,211
F	0,695	0,148	0,663	0,700	0,718	0,617	0,800
CRL	1,700	0,382	1,412	1,559	2,082	1,076	2,410
pH	7,716	0,397	7,408	7,713	7,946	6,915	8,513
T	23,86	2,341	21,87	23,81	25,74	19,56	28,24
HET	2,594	5,309	0,220	0,920	2,280	0,000	27,59
CT	0,993	0,032	1,000	1,000	1,000	0,830	1,000

**Tabela 3** - Medidas de posição das variáveis de qualidade da água observadas no final do tratamento.

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Q1	Mediana	Q3	Mín.	Máx.
TURB	0,594	0,405	0,419	0,499	0,643	0,229	3,150
CORAP	6,017	1,593	5,000	5,606	6,178	5,000	13,13
F	0,691	0,032	0,670	0,693	0,714	0,613	0,771
CRL	1,826	0,355	1,533	1,708	2,119	1,309	2,603
pH	7,754	0,397	7,453	7,772	8,083	6,733	8,600
T	22,02	2,666	19,91	21,97	24,004	17,62	32,11
HET	13,02	73,870	0,000	1,250	4,655	0,000	574,00
CT	0,997	0,032	1,000	1,000	1,000	0,867	1,000

### 3.2 COMPARAÇÃO SIMULTÂNEA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO E NO FINAL DE TRATAMENTO

Como já descrito anteriormente, o teste  $T^2$  de Hotelling é utilizado para verificar se existem diferenças significativas entre os vetores de médias com características de qualidade da água na rede de distribuição (Grupo 1) e no final de tratamento (Grupo 2). Estes vetores são destacados na Tabela 04.

**Tabela 4** - Vetores de médias das variáveis de qualidade da água.

Variáveis	Grupo 1	Grupo 2
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$
TURB	0,713	0,594
CORAP	7,009	6,017
F	0,695	0,691
CRL	1,700	1,826
pH	7,715	7,754
T	23,876	22,020
HET	2,594	13,017
CT	0,993	0,997

Já as matrizes de variâncias e covariâncias amostrais do Grupo 1 ( $S_1$ ) e do Grupo 2 ( $S_2$ ) são apresentadas nas Tabelas 05 e 06.

A princípio, por inspeção visual do gráfico de probabilidade QQ Plot (“*Chi-Square plot*”) multivariado, verificou-se no contexto global a tendência das distâncias alinharem-se ao redor de uma linha reta, salvo quatro maiores distâncias que se mostraram com leve fuga da tendência das demais na rede de distribuição e seis no final de tratamento. Esta situação, na prática, sugere uma aderência confortável dos dados à distribuição normal multivariada de probabilidade. Além disso, como observado anteriormente, os dados das características da água na rede e no final de tratamento são aproximadamente simétricos, condição importante para a robustez do teste em relação à não normalidade, de acordo com Mardia (1974).

**Tabela 5 - Matriz de variâncias e covariâncias – Rede de distribuição.**

	TURB	CORAP	F	CRL	pH	T	HET	CT
TURB	<b>0,107</b>							
CORAP	0,620	<b>4,357</b>						
F	0,003	0,017	<b>0,002</b>					
CRL	-0,037	-0,204	-0,011	<b>0,146</b>				
pH	0,058	0,260	0,007	-0,099	<b>0,158</b>			
T	0,003	0,266	0,021	-0,353	0,225	<b>5,48</b>		
HET	0,055	0,231	0,019	-0,080	0,336	4,22	<b>28,19</b>	
CT	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	-0,01	-0,01	<b>0,001</b>

**Tabela 6 - Matriz de variâncias e covariâncias – Final de Tratamento.**

	TURB	CORAP	F	CRL	pH	T	HET	CT
TURB	<b>0,164</b>							
CORAP	0,539	<b>2,538</b>						
F	0,004	0,014	<b>0,002</b>					
CRL	-0,037	-0,137	-0,009	<b>0,126</b>				
pH	0,065	0,130	0,007	-0,075	<b>0,158</b>			
T	0,132	0,836	0,013	-0,342	0,072	<b>7,105</b>		
HET	1,379	-7,843	-0,009	-2,080	3,238	-39,209	<b>0,006</b>	
CT	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,041	<b>0,0003</b>

Para verificar a homogeneidade das matrizes de variâncias-covariâncias o teste multivariado proposto por Box (JOHNSON E WICHERN, 2007 e HAIR JUNIOR et. al., 2009) foi realizado, indicando que a hipótese de igualdade das matrizes em questão deve ser rejeitada (estatística de teste igual a 269,78 e  $p < 0,05$ ).

Dessa forma, foi utilizado o teste  $T^2$  de Hotelling para matrizes de variâncias-covariâncias desiguais, verificando que existe diferença significativa entre o vetor de médias das variáveis de qualidade da água na rede de distribuição e o vetor considerando o final de tratamento ( $T^2 = 28,35$  e  $p < 0,05$ ).

Na Tabela 07, observam-se os limites inferiores e superiores dos intervalos de 95% de confiança simultâneos de Hotteling para a diferença entre as médias dos dois grupos.

**Tabela 7 - Limite inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos de confiança simultâneos de Hotteling para a diferença entre as médias dos dois grupos**

Estatística	$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$	LI	LS
TURB	0,12	-0,15	0,38
CORAP	0,99	-0,34	2,33
F	0,00	-0,03	0,03
CRL	-0,13	-0,39	0,14
pH	-0,04	-0,33	0,25
T	1,86	0,05	3,66
HET	-10,42	-48,08	27,23

Conforme se observa na Tabela 07, para a variável temperatura da água no momento da coleta, os resultados mostraram que existe diferença significativa entre os dois grupos estudados ( $p < 0,05$ ), pois o intervalo de confiança simultâneo não envolve o zero, e, como essa diferença é positiva, é possível dizer que a temperatura

da água na rede é superior à temperatura observada no final de tratamento. Já para as demais variáveis não foi possível identificar diferença significativa entre a análise realizada na rede de distribuição e no final de tratamento ( $p > 0,05$ ).

Em um estudo realizado por Campos, Farache Filho e Faria (2002), considerando as variáveis flúor, ferro, cloro e cálcio, bem como a cor, a turbidez, o pH e a contagem de coliformes totais e fecais, não foram observadas diferenças significativas em diferentes pontos da rede de distribuição de água no município de Araraquara (proximidades do reservatório de distribuição, em pontos intermediários e nas pontas da rede de distribuição).

Em outro estudo, Campos, Farache Filho e Faria (2003) verificaram diferenças significativas na qualidade da água observada nos reservatórios dos domicílios e na rede de distribuição, indicando condições desfavoráveis para água dos reservatórios domiciliares nas variáveis pH, Turbidez, concentração de cloro e ferro, bem como um percentual maior de amostras com presença de coliformes totais.

## 4 CONCLUSÃO

A análise de dados envolvendo estruturas complexas e multidimensionais por meio de técnicas estatísticas multivariadas, metodologia empregada nesta pesquisa, utiliza-se de modelos estatísticos mais próximos da realidade biológica dos dados, obtendo-se resultados que expressam melhor a situação de relacionamento entre as variáveis climáticas e de qualidade da água.

Na comparação entre os vetores médios com características de qualidade da água avaliados na rede de distribuição e no final de tratamento, verificou-se diferença significativa, sendo a variável determinante para esta diferenciação a temperatura da água. Constatou-se que a temperatura média da água foi

superior na rede de distribuição. No entanto, a temperatura da água é um aspecto independente do tratamento que não pode ser controlado, pois depende do meio ambiente. Certificou-se também que os demais parâmetros de qualidade da água não evidenciaram diferenças significativas entre os dois grupos de análise e se apresentaram, em média, dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação.

Assim, pode-se afirmar que, no município estudado, o padrão de qualidade da água mantém-se entre o final de tratamento até a rede de distribuição (cavaletes das residências), ou seja, a qualidade permanece estável em todo o sistema.

Embora, nos intervalos de confiança simultâneos de Hottelling, não fosse possível verificar significância entre os dois grupos de análise para cor aparente e cloro residual livre, sobre o aspecto prático, para um estudo mais aprofundado, o valor médio do parâmetro cor aparente se mostrou superior na rede de distribuição, enquanto que a concentração média de cloro residual foi maior no final de tratamento. Estes resultados exploratórios sugerem a hipótese de que essa característica da água está relacionada com o tipo de tubulação (pois o ferro e o manganês utilizado atualmente nas tubulações podem influenciar na cor) e com a temperatura ambiente mais elevada (ocasionando uma maior evaporação do cloro na rede). Se realmente essa hipótese for comprovada, estes resultados sugerem atenção em relação ao material utilizado nas tubulações e apontam para a necessidade de aumento da concentração de cloro no tratamento em dias mais quentes.

## 5 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 de mar. 2004. Seção 1, p. 266-269.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de recursos hídricos: Programas nacionais e metas**. Brasília, DF, 2006a. (Plano Nacional de Recursos Hídricos, v. 4). Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011025031.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011025031.pdf)>. Acesso em: 02 maio 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. Brasília, DF, 2006b. (Plano Nacional de Recursos Hídricos, v. 1). Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011025312.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011025312.pdf)>. Acesso em: 02 maio 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Água: um recurso cada vez mais ameaçado**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr\\_proecotur/\\_publicacao/140\\_publicacao09062009025910.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2013.
- CAMPOS, J. A. D. B.; FARACHE FILHO, A.; FARIA, J. B. Qualidade sanitária da água distribuída para consumo humano pelo sistema de abastecimento público da cidade de Araraquara-SP, **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 13, p. 117-129, 2002.
- \_\_\_\_\_. Qualidade da água armazenada em reservatórios domiciliares: Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v. 14, n. 1, p. 63-67. 2003.
- FREIRE, R. C. Qualidade da água nos reservatórios domiciliares na região metropolitana da cidade do Recife-PE. **Journal of Management & Primary Health Care**, Recife-PE, v. 3, n. 2, p. 102-105, 2012.
- FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre-RS, v. 19, n. 1, p. 41-49, jan./mar. 2014.
- HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W.C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2009.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2007.
- MARDIA, K. V. Assessment of multinormality and the robustness of Hotelling  $T^2$  test. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**, New York, USA, v. 24, n.2, p. 163-171, 1975.
- OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; BRITO, J. G.; SILVA, J. W. L. Qualidade da água para consumo humano distribuída pelo sistema de abastecimento público em Guarabira-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 2, p.199-205, 2012. Disponível em <[http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/1230/pdf\\_478](http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/viewFile/1230/pdf_478)>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- QUEIROZ, J. T. M.; HELLER, L.; SILVA, S. R. Análise da correlação de ocorrência de doença diarreia aguda com a qualidade da água para consumo humano no município de Vitória-ES. **Saúde Sociedade**. São Paulo, v. 18, n. 3, p. 479-489, jul./set. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-12902009000300012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902009000300012)>. Acesso em: 22 mar. 2013.
- SIQUEIRA, L. P.; SHINOHARA, N. K. S.; LIMA, R. M. T.; PAIVA, J. E.; LIMA FILHO, J. L.; CARVALHO, I. T. Avaliação microbiológica da água de consumo empregada em unidades de alimentação. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 63-66,

jan. 2010. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232010000100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232010000100011)>. Acesso em: 18 jun. 2013.

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/>>. Acesso em: 10 mar. 2012.