



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CARBONO ORGÂNICO TOTAL COMO PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DA ÁGUA DE HEMODIÁLISE E SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS  
MICROBIOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

AMANDA SANTOS DE CAMPOS

BELO HORIZONTE

2019

AMANDA SANTOS DE CAMPOS

CARBONO ORGÂNICO TOTAL COMO PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DA ÁGUA DE HEMODIÁLISE E SUA RELAÇÃO COM OS  
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal  
de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Orientador(a): Profa. Dra. Adriana Alves Pereira Wilken

BELO HORIZONTE

2019

AMANDA SANTOS DE CAMPOS

CARBONO ORGÂNICO TOTAL COMO PARÂMETRO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE  
DA ÁGUA DE HEMODIÁLISE E SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS  
MICROBIOLÓGICOS E FISICOQUÍMICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais como requisito parcial para obtenção do título  
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 28/11/2019

Banca Examinadora:



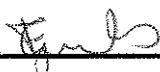
---

Adriana Alves Pereira Wilken – Presidente da Banca Examinadora  
Profa. Doutora; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientadora.



---

Flávio Rodrigues Pereira  
Especialista; Fundação Ezequiel Dias.



---

Túlio César Floripes Gonçalves  
Prof. MSc; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à FUNED, pela disponibilização do laboratório e equipamentos que tornaram possível a execução deste trabalho. Agradeço também aos funcionários do Laboratório de Química Bromatológica da FUNED, em especial ao Flávio Rodrigues, pelo apoio fornecido, pelo conhecimento que me foi passado e que possibilitaram a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores do CEFET/MG por todo o aprendizado durante a graduação. Especialmente à Professora Adriana Wilken, que desde a iniciação científica e durante toda a realização deste trabalho vem me incentivando e me orientando, tornando possível a conclusão dessa pesquisa.

E finalmente, aos amigos e familiares, pelo apoio e incentivo.

## RESUMO

No Brasil, a água tratada para hemodiálise deve cumprir os padrões da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 11/2014. Apesar desta resolução não estabelecer limites para o teor de Carbono Orgânico Total (COT), seu monitoramento é recomendado pela *Canadian Standards Association*, que cita como limite máximo o teor de 0,50 mg/L. A concentração de COT na água de hemodiálise pode indicar a presença de microorganismos ou de compostos tóxicos, prejudiciais para aqueles que dependem dessa água para tratamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água tratada para hemodiálise no estado de Minas Gerais através dos teores de COT e de alguns parâmetros de qualidade estipulados pela RDC nº 11/2014, de modo a iniciar uma reflexão a respeito da importância do monitoramento do COT na avaliação geral da qualidade da água tratada para hemodiálise. Foram analisadas 100 amostras de água tratada para hemodiálise, provenientes de 85 centros de diálise de Minas Gerais. Concentrações de COT, condutividade, fluoreto, sulfato, endotoxina bacteriana, bactéria heterotrófica, coliforme total e *Pseudomonas aeruginosa* foram analisados nos laboratórios da Fundação Ezequiel Dias, conforme metodologias internacionais. Os resultados foram comparados com os valores máximos permitidos na legislação vigente. A correlação entre os parâmetros foi determinada pelo coeficiente de correlação de *Spearman*, utilizando pacote estatístico software R (versão 3.4.2). Os resultados de COT apresentaram elevada variabilidade, sendo superiores ao valor máximo recomendado na norma canadense em 61% das amostras. Dentre os parâmetros analisados, destacam-se a condutividade e a endotoxina bacteriana, que apresentaram 12% e 14% de resultados, respectivamente, acima dos limites da RDC nº 11/2014. Não foi verificada correlação significativa entre COT e os parâmetros analisados ( $p > 0,05$ ). Os resultados reforçam a importância do monitoramento da água tratada, indicando a necessidade de maiores estudos a respeito da avaliação dos teores de COT como parâmetro de qualidade.

**Palavras-chave:** Diálise; Monitoramento da água; Saúde pública.

## ABSTRACT

In Brazil, water treated for hemodialysis must comply with the standards of the Collegiate Board Resolution - RDC No. 11/2014. Although this resolution does not set limits for Total Organic Carbon (TOC), monitoring it is recommended by the Canadian Standards Association, which sets 0.50 mg/L as the upper limit. The concentration of TOC in hemodialysis water may indicate the presence of microorganisms or toxic compounds, harmful to those who depend on this water for treatment. The objective of this study was to evaluate the quality of water treated for hemodialysis in the state of Minas Gerais through the contents of TOC and some quality parameters stipulated by RDC 11/2014, in order to start a reflection about the importance of monitoring the TOC in the general assessment of the quality of water treated for hemodialysis. A total of 100 samples of hemodialysis treated water from 85 dialysis centers in Minas Gerais were analyzed. Concentrations of TOC, conductivity, fluoride, sulfate, bacterial endotoxin, heterotrophic bacteria, total coliform and *Pseudomonas aeruginosa* were analyzed at Fundação Ezequiel Dias laboratories, according to international methodologies. The results were compared with the maximum values allowed in the current legislation. The correlation between the parameters was determined by Spearman's correlation coefficient, using software package R (version 3.4.2). The TOC results showed high variability, being higher than the maximum value recommended by the Canadian standard in 61% of the samples. Among the analyzed parameters, conductivity and bacterial endotoxin stand out, which presented 12% and 14% of results, respectively, above the limits of RDC No. 11/2014. No significant correlation was found between TOC and the analyzed parameters ( $p > 0.05$ ). The results reinforce the importance of monitoring treated water, indicating the need for further studies on the assessment of TOC contents as a quality parameter.

**Keywords:** Dialysis; Water monitoring; Public Health.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema do procedimento de diálise. ....	14
<b>Figura 2</b> - Esquema osmose reversa.....	17
<b>Figura 3</b> - Padrão de qualidade da água de hemodiálise segundo Portaria 2.042/1996 do Ministério da Saúde.....	21
<b>Figura 4</b> - Padrão de qualidade da água de hemodiálise segundo Resolução da Diretoria Colegiada nº11/2014.....	23
<b>Figura 5</b> - Concentrações de carbono orgânico total (COT) em amostras de água tratada para hemodiálise proveniente de 85 centros de diálise localizados no estado de Minas Gerais. (n = 100).....	35
<b>Figura 6</b> - Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro carbono orgânico total (COT) (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores que 0,50 mg/L, total de amostras menores que 0,50 mg/L e percentual de resultados acima de 0,50 mg/L. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100). ....	38
<b>Figura 7</b> - Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro endotoxina bacteriana (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores VMP, total de amostras menores que VMP e percentual de resultados acima do VMP. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100). ....	40
<b>Figura 8</b> - Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro condutividade (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores VMP, total de amostras menores que VMP e percentual de resultados acima do VMP. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100). ....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tabela comparativa dos parâmetros de qualidade da água para hemodiálise e seus respectivos valores máximos permitidos alterados pelas legislações vigentes em cada período.....	24
<b>Tabela 2</b> - Quantidade de amostras de água para hemodiálise provenientes de centros de diálise localizados em cada mesorregião do estado de Minas Gerais.....	29
<b>Tabela 3</b> - Métodos analíticos de medição dos parâmetros de água para hemodiálise, valores máximos permitidos (VMPs) conforme a resolução ANVISA RDC nº 11/2014 e limites de quantificação (LQs) conforme a Norma ABNT ISO/IEC 17.025/2005 e o Documento de Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia do INMETRO. ....	33
<b>Tabela 4</b> - Quantitativo de amostras de água de hemodiálise analisadas para cada parâmetro. ....	34
<b>Tabela 5</b> - Análise estatística descritiva dos resultados dos parâmetros avaliados na água para hemodiálise dos 85 centros de diálise no Estado de Minas Gerais.....	36
<b>Tabela 6</b> - Número de resultados obtidos abaixo dos limites de quantificação (LQs), entre os LQs e os valores máximos permitidos (VMPs) e acima dos VMPs definidos na Resolução RDC nº 11/2014 para cada parâmetro. ....	37
<b>Tabela 7</b> - Análise estatística descritiva do parâmetro COT (mg/L) avaliado na água para hemodiálise das mesorregiões do estado de Minas Gerais com maiores quantidades de amostras. ....	39
<b>Tabela 8</b> - Resultados das comparações das medianas de COT em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais (p-valores do Teste de <i>Mann-Whitney</i> ). ....	40
<b>Tabela 9</b> - Análise estatística descritiva do parâmetro endotoxina bacteriana (EU/mL) avaliado na água para hemodiálise das mesorregiões do Estado de Minas Gerais com maiores quantidades de amostras. ....	41

<b>Tabela 10</b> - Resultados das comparações das medianas de endotoxina bacteriana em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais (p-valores do Teste de <i>Mann-Whitney</i> ).....	41
<b>Tabela 11</b> - Análise estatística descritiva do parâmetro condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) avaliado na água para hemodiálise das mesorregiões do estado de Minas Gerais com maiores quantidades de amostras.....	43
<b>Tabela 12</b> - Resultados das comparações das medianas de condutividade em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais (p-valores do Teste de <i>Mann-Whitney</i> ).....	43
<b>Tabela 13</b> - Matriz de correlação de <i>Spearman</i> para os parâmetros avaliados ( $p < 0,05$ ).....	45

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BH – Belo Horizonte

COT – Carbono Orgânico Total

CPHD – Concentrado Polieletrólítico para Hemodiálise

FUNED – Fundação Ezequiel Dias

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LQ – Limite de Quantificação

LQB – Laboratório de Química Bromatológica

NDIR – Detector de Infravermelho Não Dispersível

RDC – Resolução de Diretoria Colegiada

SAAP – Subsistema de Abastecimento de Água Potável

SDATH – Sistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise

STDAH – Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise

THMs – Trihalometanos

VMP – Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Hemodiálise .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Água para diálise.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Tratamento da água para diálise.....</b>	<b>15</b>
3.3.1 Filtros primários .....	16
3.3.2 Filtros de carvão ativado.....	16
3.3.3 Abrandadores .....	16
3.3.4 Tratamento por deionização .....	16
3.3.5 Tratamento por osmose reversa .....	17
<b>3.4 Matéria orgânica.....</b>	<b>18</b>
3.4.1 Carbono orgânico total e os trihalometanos (THMs) .....	18
3.4.2 Carbono orgânico total e a presença de algas .....	19
<b>3.5 Legislações relativas à hemodiálise.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6 Parâmetros de qualidade da água de hemodiálise .....</b>	<b>25</b>
3.6.1 Parâmetros físicos .....	25
3.6.2 Parâmetros químicos.....	25
3.6.3 Parâmetros microbiológicos.....	27
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Amostras coletadas .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 Análise do Carbono Orgânico Total .....</b>	<b>30</b>
4.2.1 Materiais e Reagentes.....	30
4.2.2 Procedimento Analítico .....	30
<b>4.3 Demais parâmetros .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4 Análise Estatística.....</b>	<b>34</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>

<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>7. PRODUÇÃO CIENTÍFICA.....</b>	<b>47</b>
<b>7.1 Artigo em anais de eventos.....</b>	<b>47</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A insuficiência renal é diagnosticada quando os rins perdem a capacidade de remover do corpo do indivíduo, através da urina, os produtos de seu metabolismo. A insuficiência renal pode ser aguda, quando tem duração de horas ou dias, ou crônica. Na insuficiência crônica a perda da função dos rins é progressiva e, geralmente, irreversível (LIRA et al., 2015). Quando o portador de insuficiência renal atinge a fase crônica, a hemodiálise é usada para normalizar a remoção de substâncias tóxicas do organismo e adequar o balanço eletrolítico por meio de solução de diálise (dialisato) composta principalmente por água (ALMODÓVAR et al., 2018). O dialisato é composto por água tratada, solução concentrada de eletrólitos, solução tamponante e glicose. Como o sangue do paciente é colocado em contato com a solução de diálise por meio de um filtro especial, torna-se essencial que a água utilizada na hemodiálise seja de qualidade, pois dela depende a vida dos pacientes (DEUS et al., 2015).

No Brasil, as características da água para hemodiálise devem ser compatíveis com os requisitos estabelecidos pela Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 11, de 13 de Março de 2014 (BRASIL, 2014). Nesta resolução estão definidos os teores máximos permitidos dos diversos parâmetros de qualidade, como componentes químicos, microbiológicos e propriedades físicas. Para cumprir as regras da RDC nº 11/2014, os processos de tratamento de água para uso em hemodiálise devem ser capazes de produzir uma água com parâmetros adequados que a caracterizem como “água para injetáveis”. Atualmente, no Brasil, a água usada na hemodiálise é purificada no Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise (STDAH). Antes de ser tratada no STDAH, geralmente composto por processos de deionização e osmose reversa, a água primeiramente passa por um pré tratamento por meio de filtros primários, filtros de carvão ativado e abrandadores (VASCONCELOS, 2012; BUGNO et al., 2007).

A presença de Carbono Orgânico Total (COT) na água pode indicar contaminação por algas e de compostos excretados por elas, muitos deles tóxicos. Essas substâncias tóxicas, quando em contato com o organismo humano podem causar até a morte, como foi o caso dos pacientes de uma clínica de hemodiálise na cidade de Caruaru, Pernambuco. Este acidente ocorreu no Instituto de Doenças

Renais (IDR) no ano de 1996, matando 65 pacientes (GREBIN et al., 2018). Embora a legislação brasileira para água de hemodiálise não contemple o COT como parâmetro de qualidade, outros países já recomendam o seu monitoramento na avaliação geral da qualidade dessa água. No Canadá, por exemplo, a *Canadian Standards Association* recomenda um valor máximo para COT de 0,50 mg/L (WARD, 2007).

Embora haja alguns estudos que destacam a relevância da medição da concentração de COT em água para abastecimento e em corpos hídricos (LIBÂNIO et al., 2000; GONG et al., 2012), estudos sobre a avaliação desse parâmetro na água de hemodiálise, especificamente, são muito raros (ABUALHASAN et al., 2018).

Desta forma, o presente estudo busca avaliar a relevância da determinação de COT na água tratada para hemodiálise e sua relação com os níveis de alguns parâmetros de qualidade avaliados de acordo com a legislação brasileira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a importância do monitoramento de COT na avaliação geral da qualidade da água tratada para hemodiálise no estado de Minas Gerais.

### **2.2 Objetivos Específicos**

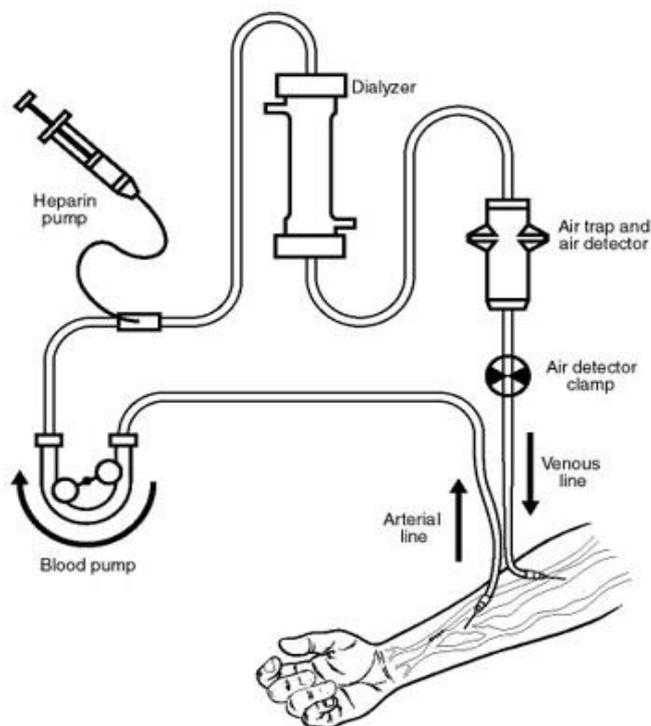
- Reportar as concentrações dos parâmetros COT, condutividade, fluoreto, sulfato, endotoxina bacteriana, bactéria heterotrófica, coliforme total e *Pseudomona aeruginosa* na água tratada para hemodiálise no Estado e verificar a existência de correlação entre eles.
- Verificar o atendimento dos resultados dos parâmetros analisados aos padrões legais e norma internacional.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Hemodiálise

A hemodiálise consiste no processo de filtragem e depuração do sangue de substâncias tóxicas e indesejáveis que necessitam ser eliminadas da corrente sanguínea humana, substituindo assim a função renal. Neste procedimento, a transferência de solutos ocorre entre o sangue e a solução de diálise através de uma membrana semipermeável artificial, chamada filtro de hemodiálise ou capilar. Dessa forma, não corre contato direto entre o sangue e a solução de diálise (MIETO, 2014). Para que a diálise seja realizada, é necessário um acesso vascular para que o sangue seja levado, por meio da linha arterial da máquina de diálise, até ela. Em seguida o sangue é filtrado e retorna ao corpo do paciente pela linha venosa (SAÚDE BIAZI, 2012), conforme ilustrado pela Figura 1.

**Figura 1** - Esquema do procedimento de diálise.



Fonte: FARIA, 2011.

### **3.2 Água para diálise**

A água é considerada um solvente universal e, devido a essa propriedade, é capaz de transportar gases, elementos, substâncias e compostos orgânicos que serão dissolvidos. Assim, esses elementos irão afetar a qualidade dessa água. Por isso, não existe água pura na natureza, e cada água captada apresenta determinada qualidade. Dessa forma, a água deverá passar por um tratamento específico para torná-la adequada ao seu uso pretendido (VIANNA, 1997).

Nesse contexto, a água utilizada no procedimento de hemodiálise necessita de tratamento específico para atingir a qualidade especificada pela legislação pertinente. Em uma sessão de diálise, a água é o insumo mais consumido. Ela é utilizada para diluir soluções concentradas de sais, requerendo, portanto, grande preocupação com sua qualidade (PÉREZ & RODRIGUEZ, 2001).

A água de hemodiálise é obtida por meio da água potável depois de ser submetida ao STDAH. As características da água após o tratamento específico devem ser compatíveis com os requisitos estabelecidos pela Resolução RDC nº 11/2014 (BRASIL, 2014).

### **3.3 Tratamento da água para diálise**

A água potável é aquela que atende ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de Setembro de 2017 (BRASIL, 2017). Por meio do processo de purificação do STDAH, a água potável é transformada na água para hemodiálise, sendo que a Resolução RDC nº 11/2014 não estabelece tratamento específico que a água potável deve receber nos serviços de diálise (BRASIL, 2014).

De acordo Resolução RDC nº 33/2008, que dispõe sobre o regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos sistemas de tratamento e distribuição de água para hemodiálise no sistema nacional de vigilância sanitária, o STDAH deve ser composto pelos seguintes subsistemas:

I - Subsistema de Abastecimento de Água Potável (SAAP);

II - Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise (STAH);

III - Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise (SDATH) (BRASIL, 2008).

Segundo Bugno et al. (2007), os STDAH mais utilizados constituem-se de um pré tratamento composto por filtros primários, filtros de carvão ativado, abrandadores e o tratamento, composto por deionizadores ou osmose reversa. A eficiência do tratamento irá depender da qualidade da água a ser tratada e da capacidade dos equipamentos de remoção dos contaminantes, sendo que cada equipamento possui uma função específica nas etapas de tratamento:

### 3.3.1 Filtros primários

Os filtros primários têm a função de remover impurezas e sedimentos da água captada, sendo recomendável a utilização de um filtro de porosidade variável de 5 a 25 micrômetros, ou um filtro de sedimentação (RAMIREZ, 2009).

### 3.3.2 Filtros de carvão ativado

Os filtros de carvão ativado são responsáveis pelo processo de adsorção. Nesse processo, as moléculas do contaminante são removidas da água devido a forças físicas ou químicas. O processo de filtração por carvão ativado tem como objetivo a adsorção de cloretos, cloraminas e substâncias orgânicas (RAMIREZ, 2009; MÜLLER et al., 2009).

### 3.3.3 Abrandadores

Os abrandadores, geralmente, são utilizados para remover as substâncias responsáveis pela dureza da água, sendo elas os íons de cálcio e magnésio. Esses íons podem precipitar nas tubulações e equipamentos do STDAH, obstruindo-os. Isso poderá causar um declínio da produção de água para diálise e também uma redução da qualidade do tratamento dessa água (PAYNE & CURTIS, 2018).

### 3.3.4 Tratamento por deionização

Os deionizadores são constituídos por resinas que tem a capacidade de eliminar grande parte dos minerais, matéria orgânica e partículas coloidais. Os deionizadores são formados por resinas catiônicas e aniônicas que adsorvem

cátions diversos liberando íons hidrogênio ( $H^+$ ) e fixam também ânions, liberando íons hidroxila ( $OH^-$ ). A desvantagem que os deionizadores apresentam é de poderem sofrer contaminação bacteriana, já que principalmente as resinas aniônicas, que retêm matéria orgânica, podem aumentar a proliferação de bactérias. Essa contaminação pode ser evitada com regenerações frequentes das resinas, cloração e também impedindo que a água fique parada dentro do sistema de purificação. Além disso, também pode ocorrer a contaminação química das resinas, devido à liberação de íons captados por elas. Por isso, a necessidade de regeneração das resinas antes de sua saturação total (SILVA et al., 1996).

### 3.3.5 Tratamento por osmose reversa

A osmose reversa é o processo pelo qual a água pura pode ser retirada de uma solução salina por meio de uma membrana semipermeável. Porém, a solução salina deve apresentar pressão superior à pressão osmótica. Vale ressaltar que a qualidade da água produzida pela osmose reversa depende de alguns parâmetros como temperatura, pH e condutividade, produzindo uma água extremamente pura do ponto de vista físico, químico e bacteriológico. Ela retém entre 95 e 99% de contaminantes químicos, praticamente a totalidade das bactérias, fungos, algas e vírus, além de pirogênicos e material protéico de alto peso molecular (SILVA et al., 1996).

**Figura 2** - Esquema osmose reversa.



Fonte: AZEREDO, 2014.

### 3.4 Matéria orgânica

Com a gradativa deterioração da qualidade das águas nos mananciais de abastecimento, torna-se importante o monitoramento das suas características físico-químicas e microbiológicas. Dentre essas características está o teor de compostos orgânicos.

Os compostos orgânicos presentes nas águas naturais são oriundos basicamente de duas fontes. A primeira fonte refere-se às substâncias húmicas derivadas da decomposição de matéria orgânica de origem vegetal. A segunda fonte dos compostos orgânicos são as atividades antrópicas, tais como despejo de efluentes domésticos ou industriais, além da lixiviação de vias urbanas e solos agricultáveis (LIBÂNIO et al., 2000).

A análise quantitativa dos compostos orgânicos presente na água pode ser realizada por meio do COT. Em águas superficiais, a concentração de COT varia entre 1 e 20 mg/L. Assim, uma alteração desse parâmetro pode indicar introdução de fontes poluidoras (LIBÂNIO et al., 2000).

Outra questão relacionada à matéria orgânica em água diz respeito à reação química que a matéria orgânica sofre quando em contato com o cloro utilizado na desinfecção da água para abastecimento, gerando os trihalometanos (THMs) (BROOKS et al., 2015).

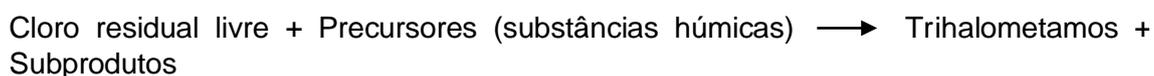
#### 3.4.1 Carbono orgânico total e os trihalometanos (THMs)

A desinfecção da água é um processo seletivo, ou seja, não destrói todas as formas vivas e tampouco elimina todos os organismos patogênicos. É realizada por meio da utilização de um agente químico ou não químico. A desinfecção tem por objetivo a inativação de microrganismos patogênicos presentes na água por meio da ocorrência de um ou mais dos seguintes mecanismos: i) destruição da estrutura celular; ii) interferência no metabolismo com inativação de enzimas; iii) interferência na biosíntese e no crescimento celular, evitando a síntese de proteínas, ácidos nucléicos e coenzimas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

O cloro é o agente desinfetante mais utilizado nas estações de tratamento de água, pois além de inativar os microrganismos presentes em um intervalo de tempo relativamente pequeno, apresenta um custo razoável. Nas dosagens utilizadas não confere sabor e odor à água e ainda produz residuais persistentes que terão ação após a saída da água da estação de tratamento. Porém, a reação do cloro residual livre com compostos orgânicos presentes na água acarreta a formação de subprodutos indesejáveis, os THMs (ALVARENGA, 2010).

Os THMs são compostos orgânicos derivados do metano, que possuem halogênios em sua fórmula. Estes elementos do grupo dos halogênios podem ser o cloro, bromo e, possivelmente, o iodo. Os principais THMs que podem ser encontrados nas águas de abastecimento são o triclorometano, bromodiclorometano, dibromoclorometano e tribromometano (MACEDO et al., 2001).

Ainda segundo Macedo e colaboradores (2001), a formação dos THMs pode acontecer na estação de tratamento ou no sistema de distribuição, devido às reações do cloro livre com a matéria orgânica, sendo a reação representada esquematicamente pela equação:



A importância da avaliação da concentração dos THMs está no fato desses compostos possuírem efeitos mutagênicos, carcinogênicos e teratogênicos (MEYER, 1994).

#### 3.4.2 Carbono orgânico total e a presença de algas

A matéria orgânica, em especial a dissolvida, possui um importante papel na proliferação de algas nos sistemas aquáticos, pois age como um precipitador de nutrientes para o crescimento dessas algas. O aumento da matéria orgânica favorece o aumento dos microrganismos decompositores livres, resultando em consumo do oxigênio dissolvido na água, o que favorece a atividade fotossintética da comunidade algal (LIBÂNIO et al., 2000; SANCHES et al., 2012).

Algumas algas são produtoras de compostos orgânicos capazes de conferir sabor e odor à água em menores concentrações. Mas, em concentrações maiores, podem conferir toxicidade à água. Esses compostos orgânicos podem causar desde irritação na pele e mucosa e intoxicações gastrointestinais, até bloqueio nas transmissões neuromusculares, causando a morte do paciente em poucos dias após a exposição inicial (SANCHES et al., 2012).

### **3.5 Legislações relativas à hemodiálise**

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988, iniciou-se um novo momento político-institucional no país, ao reafirmar o Estado democrático e definir uma política de proteção social. Nesse contexto, a saúde foi reconhecida como direito social, devendo o Estado oferecer serviços de saúde e suas variáveis a todos os cidadãos:

A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco da doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e aos serviços para a sua promoção, proteção e recuperação (Brasil, 1988, Art.196).

Porém, a legislação específica para serviços de hemodiálise veio apenas com a Portaria nº 2.042, de 11 de Outubro de 1996 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1996). Esta Portaria provocou uma reestruturação em todos os serviços de diálise no país. Em relação ao monitoramento da qualidade da água de diálise, a Portaria estabeleceu instruções sobre a coleta de amostras para as análises, estipulou os pontos de coleta e os valores de referência dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos que deveriam ser analisados, conforme Tabela II presente na Portaria e que pode ser vista na Figura 3 (BRASIL, 1996).

**Figura 3** - Padrão de qualidade da água de hemodiálise segundo Portaria 2.042/1996 do Ministério da Saúde.

**Tabela II**  
Padrão de qualidade da água tratada utilizada na preparação de solução para diálise

Componentes	Valor máximo permitido	Frequência de análise
Coliforme total	ausência em 100 ml	Mensal
Contagem de bactérias heterotróficas	200 UFC/ml	Mensal
Endotoxinas	1 µg/ml	Mensal
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	2 mg/l	Semestral
Alumínio	0,01 mg/l	Semestral
Cloramina	0,1 mg/l	Semestral
Cloro	0,5 mg/l	Semestral
Cobre	0,1 mg/l	Semestral
Fluoreto	0,2 mg/l	Semestral
Sódio	70 mg/l	Semestral
Cálcio	2 mg/l	Semestral
Magnésio	4 mg/l	Semestral
Potássio	8 mg/l	Semestral
Bário	0,1mg/l	Semestral
Zinco	0,1mg/l	Semestral
Sulfato	100 mg/l	Semestral
Arsênico	0,005 mg/l	Semestral
Chumbo	0,005mg/l	Semestral
Prata	0,005mg/l	Semestral
Cádmio	0,001 mg/l	Semestral
Cromo	0,014 mg/l	Semestral
Selênio	0,09 mg/l	Semestral
Mercurio	0,0002 mg/l	Semestral

Fonte: BRASIL, 1996.

Em 2000, a Portaria nº 2.042/1996 foi substituída pela Portaria nº 82, de 03 de Janeiro, que atualizou o regulamento técnico para o funcionamento dos serviços de diálise e as normas para cadastramento destes junto ao Sistema Único de Saúde (BRASIL, 2000). Com relação à água, houve mudança apenas no parâmetro condutividade. A Portaria nº 2.042/1996 estabelecia o limite para a condutividade o valor igual ou menor que 1 µS/cm, medida à temperatura de 25°C. A partir da Portaria nº 82/2000, este limite passou a ser de 10 µS/cm, a 25°C (BRASIL, 2000).

Em Junho de 2004, a Portaria nº 82/2000 foi substituída pela Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 154, de 15 de Junho (BRASIL, 2004). Em relação ao monitoramento da qualidade de água, esta norma estabeleceu que as amostras de água para fins de análises físico-químicas e microbiológicas fossem colhidas nos pontos contíguos à máquina de hemodiálise e no reúso, devendo ser um dos pontos na parte mais distal da alça de distribuição (loop). Ambas as legislações propunham que fossem analisados os seguintes parâmetros: coliformes totais, condutividade, contagem de bactérias heterotróficas, endotoxinas, alumínio, arsênico, bário, cálcio, cádmio, chumbo, cloramina, cloro, cobre, cromo, fluoreto, magnésio, mercúrio,

nitrato, sódio, potássio, prata, selênio, sulfato e zinco. Porém, a RDC n° 154/2004 acrescentou a análise de antimônio, berílio e tálio. As análises para endotoxinas também sofreram mudanças em seus valores de referência, passando de 1 µg/mL para 2 EU/mL (BRASIL, 2004).

Em 2014, a RDC n° 154/2004 foi substituída pela Resolução vigente atualmente, a RDC n° 11, de 13 de Março, que atualiza os requisitos de boas práticas para o funcionamento dos serviços de diálise (BRASIL, 2014). Nesta Resolução, a Seção XIII aborda a qualidade da água de hemodiálise, propondo os parâmetros para análises além de recomendar que as amostras de água, para fins de análises físico-químicas, sejam coletadas em um ponto específico no final do subsistema de tratamento de água. Além disso, as amostras de água para fins de análises microbiológicas devam ser coletadas, no mínimo, em dois pontos distintos, sendo eles o ponto de retorno da alça de distribuição (loop) e um dos pontos da sala de processamento (reúso). As análises para o parâmetro endotoxinas sofreu mudança em seu limite, passando 2 EU/mL para 0,25 EU/mL. Além disso, o limite para a contagem de bactérias heterotróficas também sofreu alteração, passando de 200 para 100 UFC/ml, conforme Quadro II presente na Resolução e apresentado na Figura 4 (BRASIL, 2014).

**Figura 4** - Padrão de qualidade da água de hemodiálise segundo Resolução da Diretoria Colegiada nº11/2014.

**QUADRO II - PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA HEMODIÁLISE**

Componentes	Valor máximo permitido	Frequência de análise
Coliforme total	Ausência em 100 ml	Mensal
Contagem de bactérias heterotróficas	100 UFC/ml	Mensal
Endotoxinas	0,25 EU/ml	Mensal
Alumínio	0,01 mg/l	Semestral
Antimônio	0,006 mg/l	Semestral
Arsênico	0,005 mg/l	Semestral
Bário	0,1mg/l	Semestral
Berílio	0,0004 mg/l	Semestral
Cádmio	0,001 mg/l	Semestral
Cálcio	2 mg/l	Semestral
Chumbo	0,005mg/l	Semestral
Cloro total	0,1 mg/l	Semestral
Cobre	0,1 mg/l	Semestral
Cromo	0,014 mg/l	Semestral
Fluoreto	0,2 mg/l	Semestral
Magnésio	4 mg/l	Semestral
Merúrio	0,0002 mg/l	Semestral
Nitrato (N)	2 mg/l	Semestral
Potássio	8 mg/l	Semestral
Prata	0,005mg/l	Semestral
Selênio	0,09 mg/l	Semestral
Sódio	70 mg/l	Semestral
Sulfato	100 mg/l	Semestral
Tálio	0,002 mg/l	Semestral
Zinco	0,1mg/l	Semestral

Fonte: BRASIL, 2014.

A Tabela 1 mostra um resumo das alterações das legislações pertinentes à água de hemodiálise ao longo dos anos.

**Tabela 1** - Tabela comparativa dos parâmetros de qualidade da água para hemodiálise e seus respectivos valores máximos permitidos alterados pelas legislações vigentes em cada período.

Parâmetros	Valor máximo permitido			
	Portaria nº 2.042/1996	Portaria nº 82/200	RDC nº 154/2004	RDC nº 11/2014
<b>Físicos</b>				
Condutividade (µS/cm)	≤ 1,0	10,0	Na <sup>1</sup>	Na <sup>1</sup>
<b>Microbiológicos</b>				
Endotoxina Bacteriana	1 µg/mL	Na <sup>1</sup>	2 EU/mL	0,25 EU/mL
Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	200	Na <sup>1</sup>	Na <sup>1</sup>	100
<b>Químicos</b>				
Antimônio (mg/L)	Na <sup>2</sup>	Na <sup>2</sup>	0,006	Na <sup>1</sup>
Berílio (mg/L)	Na <sup>2</sup>	Na <sup>2</sup>	0,0004	Na <sup>1</sup>
Tálio (mg/L)	Na <sup>2</sup>	Na <sup>2</sup>	0,002	Na <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Não houve alteração no parâmetro; <sup>2</sup>Parâmetro não abordado pela legislação.

Apesar da RDC nº 11, de 13 de Março, não estabelecer limites para o teor COT em águas tratadas para hemodiálise, a RDC nº 8 de 2 de janeiro de 2001, que estabelece critérios de boas práticas de fabricação do Concentrado Polieletrólítico para Hemodiálise (CPHD) cita a possibilidade de substituição do parâmetro “Substâncias Oxidáveis” (limite máximo de 0,30 mg/L) por COT quando realizada a avaliação da água utilizada no CPHD. Porém, a legislação não informa o valor máximo permitido (VMP) para quando for realizada a avaliação por meio do COT (BRASIL, 2001).

### **3.6 Parâmetros de qualidade da água de hemodiálise**

#### **3.6.1 Parâmetros físicos**

Na Resolução RDC nº 11/2014 o único parâmetro físico estabelecido para a avaliação da qualidade da água de hemodiálise é a condutividade. A condutividade é a medida da capacidade de uma solução aquosa de transportar corrente elétrica. Esta capacidade é proporcional à presença de íons, à concentração, mobilidade e valência desses íons, além da temperatura da solução. A maioria das soluções de compostos orgânicos apresentam condutividade elevada. Porém, compostos orgânicos moleculares que não se dissociam em solução aquosa apresentam condutividade baixa. A condutividade representa um parâmetro inespecífico da qualidade da água, por se tratar apenas da concentração de íons dissolvidos na amostra (APHA, 2012). Porém, em se tratando de hemodiálise, esse parâmetro se mostra importante, uma vez que a concentração de íons no sangue humano possibilita a ação das enzimas, a regulação dos fluidos intracorpóreos e da função celular, entre outros. Dessa forma, uma concentração de íons fora do padrão corpóreo pode ocasionar um comprometimento do adequado funcionamento do organismo (MOSSINI et al., 2014).

#### **3.6.2 Parâmetros químicos**

Na Resolução RDC nº 11/2014, os parâmetros químicos que devem ser avaliados são o alumínio, antimônio, arsênico, bário, berílio, cádmio, cálcio, chumbo, cloro total, cobre, cromo, fluoreto, magnésio, mercúrio, nitrato, potássio, prata, selênio, sódio, sulfato, tálio e zinco (BRASIL, 2014). Para realização do presente

estudo serão reportados apenas os dados de fluoreto e sulfato das amostras de água tratada para hemodiálise, uma vez que foi consentida a coleta dos resultados apenas para esses parâmetros.

A presença de íons fluoreto ( $F^-$ ) é mais comum em águas subterrâneas do que em águas superficiais. Isto acontece devido à decomposição das rochas (MORAES et al., 2009). Porém, em decorrência da adição de flúor durante o tratamento das águas de abastecimento, com o objetivo de minimizar o desenvolvimento de cárie dentária, a água potável também apresenta concentrações desse íon, sendo o teor máximo permitido igual a 1,5 mg/L (BRASIL, 2017). O valor máximo permitido estabelecido pela Resolução ANVISA RDC nº 11/2014 para fluoreto em água tratada para hemodiálise é de 0,2 mg/L. Desta forma, o processo de purificação pelo qual a água potável passa no STDAH é fundamental para torná-la adequada aos procedimentos hemodialíticos.

Segundo Frazão et al. (2011), concentrações elevadas de fluoreto no organismo podem levar a um aumento da produção óssea e deficiência na mineralização. Além disso, a sobrecarga crônica por fluoreto pode ocasionar doenças ósseas como amolecimento dos ossos (osteomalacia). Em 1980, foi reportado um acidente por excesso de flúor na água, em uma clínica de hemodiálise na cidade de Maryland, EUA. Oito pacientes sofreram complicações graves, sendo que um deles veio a óbito (GANZI & TICE, 1984, apud SILVA et al., 1996).

Com relação ao sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), sua presença em água decorre principalmente de processos industriais, de sistemas de fertilização e do próprio sistema de abastecimento de água, uma vez que é comum a utilização de sais de sulfato como coagulantes durante a etapa de coagulação do tratamento de água para o consumo humano. De acordo com a legislação, o valor máximo permitido de sulfato para que a água seja considerada potável é de 250 mg/L (BRASIL, 2017). Mas quando se trata de água para uso em hemodiálise, esse valor máximo diminui para 100mg/L (BRASIL, 2014). Concentrações excessivas de sulfato no organismo podem acarretar, além de náuseas e vômitos, a chamada acidose metabólica, caracterizada pelo aumento de acidez no sangue devido à concentração baixa de carbonatos. A

acidose metabólica pode resultar em problemas respiratórios e sobrecarga renal (JESUS & ALMEIDA, 2016; FERREIRA et al., 2011).

### 3.6.3 Parâmetros microbiológicos

Na Resolução RDC nº 11/2014 os parâmetros microbiológicos previstos para monitoramento da qualidade da água de hemodiálise são as bactérias heterotróficas, coliformes totais e a endotoxina bacteriana (BRASIL, 2014). Além da realização das análises previstas pela legislação, é importante o controle de *Pseudomonas aeruginosa*, conforme indicado pela Farmacopéia Americana (UNITED STATES PHARMACOPEIA, 2006).

As bactérias heterotróficas são microorganismos que utilizam o carbono orgânico como fonte de nutrientes, sendo que a avaliação desse parâmetro fornece informações inespecíficas sobre a qualidade bacteriológica da água analisada. O ensaio para detecção inclui bactérias ou esporos de bactérias, sejam de origem fecal, componentes da flora natural da água ou resultantes da formação de biofilmes no sistema de distribuição. A presença de bactérias heterotróficas pode ser indicadora da ineficácia da desinfecção e, por converterem ácidos húmicos provenientes de águas naturais em biomassa, podem favorecer o crescimento de biofilme nas tubulações. Dessa forma, as bactérias heterotróficas podem ser empregadas para avaliação da qualidade microbiológica da água nas redes de distribuição (DOMINGUES et al., 2007).

Os coliformes totais são grupos de bactérias Gram negativas, aeróbias ou aneróbias facultativas, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose. Predominantemente, pertencem a este grupo as bactérias dos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Dentre elas, apenas a *E.coli* é encontrada exclusivamente no trato intestinal de animais e humanos. As outras, além de poderem estar presentes nas fezes, podem ser encontradas também no solo ou em vegetais (BRASIL, 2013). Logo, a presença de coliformes totais em amostras de água não indica, necessariamente, que houve contaminação fecal (BUGNO et al., 2007).

As endotoxinas bacterianas são compostos encontrados na parede celular, mais especificamente na membrana externa, de bactérias Gram negativas, como por exemplo *E.coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Pseudomonas*, *Neisseria* e *Haemophilus* (SILVA et al., 1996). Essas endotoxinas são liberadas após a destruição das bactérias. Porém, quantidades mínimas de endotoxinas podem ser liberadas por culturas de bactérias jovens, sendo que elas são tóxicas para os seres humanos, podendo causar uma série de reações patofisiológicas, que podem variar desde febre a mudanças na contagem das células brancas sanguíneas, hipotensão, choque e até a morte. Por isso a detecção de endotoxinas é de extrema importância para a vida daqueles que realizam a hemodiálise (FUKUMORI, 2008).

Em teoria, a membrana do dialisador deve ser capaz de impedir a passagem de bactérias e/ou toxinas produzidas por elas do dialisato para o sangue do paciente. Porém, isso pode acontecer se houver defeito na integridade da membrana, se houver falha no tratamento da água para diálise e o nível de contaminação por microorganismos estiver elevado, ou por contaminação durante o processo de reuso dos dialisadores (BUGNO et al., 2007).

De acordo com Jesus & Almeida (2016), o contato da água para hemodiálise contaminada por endotoxina com o sangue de pacientes renais pode acarretar em diversas reações pirogênicas como febre, calafrios, hipotensão, mal-estar, tremores e náuseas, ou mesmo em complicações a longo prazo como caquexia (grau extremo de enfraquecimento) e amiloidose, caracterizada pelo acúmulo proteico anormal em órgãos e tecidos celulares. Além disso, contaminações por altos teores de endotoxinas diretamente na corrente sanguínea são, geralmente, fatais.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Amostras coletadas

No presente trabalho foram utilizadas um total de 100 amostras de água tratada para hemodiálise, coletadas durante o ano de 2017 para o Programa de Monitoramento da Qualidade dos Serviços de Hemodiálise de Minas Gerais, realizado pela Fundação Ezequiel Dias (FUNED). O Programa tem caráter fiscal, com instauração de processos administrativos e demais ações legais no caso de descumprimento da legislação vigente, o que constitui uma infração sanitária.

As amostras foram coletadas em 85 centros de diálise localizados no estado de Minas Gerais, distribuídos em 12 mesorregiões conforme a divisão estabelecida pelo IBGE (2010), sendo o maior quantitativo de serviços de diálise (23) atribuído à mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (BH) e o menor (1) correspondente à mesorregião Noroeste de Minas (Tabela 1). Foi avaliada pelo menos uma amostra de cada centro de diálise distribuídos pelas 12 mesorregiões do Estado, conforme Tabela 2.

**Tabela 2** - Quantidade de amostras de água para hemodiálise provenientes de centros de diálise localizados em cada mesorregião do estado de Minas Gerais.

<b>Mesorregiões do Estado de Minas Gerais</b>	<b>Centros de Diálise</b>	<b>Quantidade de Amostras</b>
Campo das Vertentes	2	2
Central Mineira	2	2
Jequitinhonha	2	3
Metropolitana de Belo Horizonte	23	30
Noroeste de Minas	1	2
Norte de Minas	6	6
Oeste de Minas	3	3
Sul/Sudoeste de Minas	14	16
Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	15	16
Vale do Mucuri	2	2
Vale do Rio Doce	4	4
Zona da Mata	11	14
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>100</b>

As coletas foram realizadas por técnicos treinados da Vigilância Sanitária no ponto de coleta relativo à sala de processamento de capilares de cada serviço e encaminhadas à FUNED para a determinação analítica das concentrações dos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Resolução RDC nº 11/2014 e do COT. No presente trabalho, além do COT, são reportados e avaliados os parâmetros condutividade, fluoreto, sulfato, endotoxina bacteriana, bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Pseudomonas aeruginosa*.

## **4.2 Análise do Carbono Orgânico Total**

Para realização das análises de COT, foi utilizado o analisador de carbono orgânico total da marca Shimadzu®, modelo TOC-L. Ele utiliza o método de oxidação por combustão catalítica em temperaturas próximas a 680°C, sendo equipado com um detector de infravermelho não dispersível (NDIR).

### **4.2.1 Materiais e Reagentes**

Para a construção das curvas de calibração foi utilizado o composto químico Sucrose, certificado de acordo com USP (United States Pharmacopeia). As faixas de trabalho utilizadas foram de concentração determinadas de 0,05 a 1,0 mg/L e 1,0 a 50,0 mg/L de COT. A água utilizada no preparo das soluções padrão e como branco foi classificada como ultrapura e obtida pelo sistema Milli-Q da Millipore®. O gás de arraste utilizado foi o oxigênio, com vazão ajustada de 150mL/min, própria para as análises. A vidraria utilizada para preparação do padrão sucrose foi pré-condicionada por uma lavagem com solução a 30% de ácido nítrico e em seguida lavada com água ultra pura.

Para a conservação das amostras de água de hemodiálise, foi utilizado ácido fosfórico Pró-Análise (PA) em pH 2.

### **4.2.2 Procedimento Analítico**

A quantificação do COT foi realizada de forma direta. Inicialmente, ácido clorídrico em concentração 1M, foi utilizado para oxidação do carbono inorgânico da amostra durante a análise no analisador de carbono orgânico total. o analisador de carbono adicionou ácido fosfórico à amostra, para converter o carbono inorgânico à gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Em seguida, ocorreu o borbulhamento da mistura

ácido/amostra com o ar sintético. Desta forma, o CO<sub>2</sub> convertido foi removido da solução, restando na amostra somente o carbono orgânico não purgável, que corresponde ao COT.

O COT contido na amostra foi então oxidado a CO<sub>2</sub> através de combustão catalítica, onde a platina foi usada como catalisador. O gás carbônico foi resfriado e encaminhado para o detector de infravermelho não dispersível, onde a quantidade desse CO<sub>2</sub> foi medida e o detector emitiu um sinal que gerou, no computador acoplado ao aparelho, um pico. A área do pico gerado era proporcional à concentração de COT presente na amostra. As análises foram realizadas em duplicata. Os resultados de COT foram comparados com o limite recomendado pela *Canadian Standards Association*, de 0,50 mg/L, após ter sido descontado do valor encontrado o teor de COT utilizado como branco.

#### **4.3 Demais parâmetros**

Para a avaliação das amostras com relação aos demais parâmetros analisados – condutividade, fluoreto, sulfato, endotoxina bacteriana, bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Pseudomona aeruginosa* - foram utilizados os métodos analíticos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), *Farmacopéia Americana* (UNITED STATES PHARMACOPEIA, 2006) e *Recommended analytical conditions and general information* (PERKIN ELMER, 1996).

As análises desses parâmetros foram realizadas pelos técnicos do Laboratório de Bromatologia da FUNED. Os resultados foram comparados com os valores máximos permitidos (VMPs) estabelecidos pela legislação vigente (BRASIL, 2014). Também foram especificados os limites de quantificação (LQs) considerados nos processos de validação intralaboratorial dos respectivos métodos de acordo com a Norma ABNT ISO/IEC 17.025/2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) e com o Documento de Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos (INMETRO, 2016) (Tabela 3).

Vale ressaltar que para algumas das 100 amostras coletadas durante o estudo não foi possível realizar a análise quantitativa para todos os demais parâmetros, por fatores diversos (Tabela 4).

**Tabela 3** - Métodos analíticos de medição dos parâmetros de água para hemodiálise, valores máximos permitidos (VMPs) conforme a resolução ANVISA RDC nº 11/2014 e limites de quantificação (LQs) conforme a Norma ABNT ISO/IEC 17.025/2005 e o Documento de Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia do INMETRO.

Parâmetro	Metodologia	VMP	LQ
COT <sup>1</sup> (mg/L)	Nº 5310 B do <i>Standard Methods</i> (APHA, 2012)	-	0,05
Condutividade (µS/cm)	Nº 2510 B da <i>Standard Methods</i> (APHA, 2012)	10,0	1,0
Fluoreto (mg/L)	Por Kit Analítico Merck Spectroquant® F <sup>-</sup> código 1.14598.0001 análogo ao <i>Standard Methods</i> nº 4500-F <sup>-</sup> (APHA, 2012)	0,20	0,05
Sulfato (mg/L)	Por Kit Analítico Merck Spectroquant® SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> código 1.14791.0001 análogo ao <i>Standard Methods</i> (APHA, 2012)	100	5,0
Endotoxina (EU/mL)	USP 29, NF 24 (UNITED STATES PHARMACOPEIA, 2006)	0,250	0,125
Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	Contagem em Placa do <i>Standard Methods</i> (APHA, 2012)	100	1
Coliformes totais <sup>2</sup> (Ausência em 100 mL)	Teste do Substrato Enzimático do <i>Standard Methods</i> (APHA, 2012)	Ausência	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>3</sup> (NMP/100 mL)	Número Mais Provável do <i>Standard Methods</i> (APHA, 2012)	-	1,1

<sup>1</sup>Parâmetro não mencionado pela Resolução ANVISA RDC nº 11/2014; <sup>2</sup>Parâmetro qualitativo (presença/ausência), logo LQ não se aplica; <sup>3</sup>Parâmetro não mencionado pela Resolução ANVISA RDC nº 11/2014, mas cujo monitoramento é indicado pela Farmacopéia Americana.

**Tabela 4** - Quantitativo de amostras de água de hemodiálise analisadas para cada parâmetro.

<b>Parâmetro</b>	<b>Total de Amostras Analisadas</b>
COT (mg/L)	100
Condutividade ( $\mu$ S/cm)	100
Fluoreto (mg/L)	63
Sulfato (mg/L)	88
Endotoxina bacteriana (EU/mL)	100
Bactéria heterotrófica (UFC/mL)	99
Coliformes totais (Ausência em 100 mL)	100
<i>Pseudomona aeruginosa</i> (NMP/100 mL)	83

#### 4.4 Análise Estatística

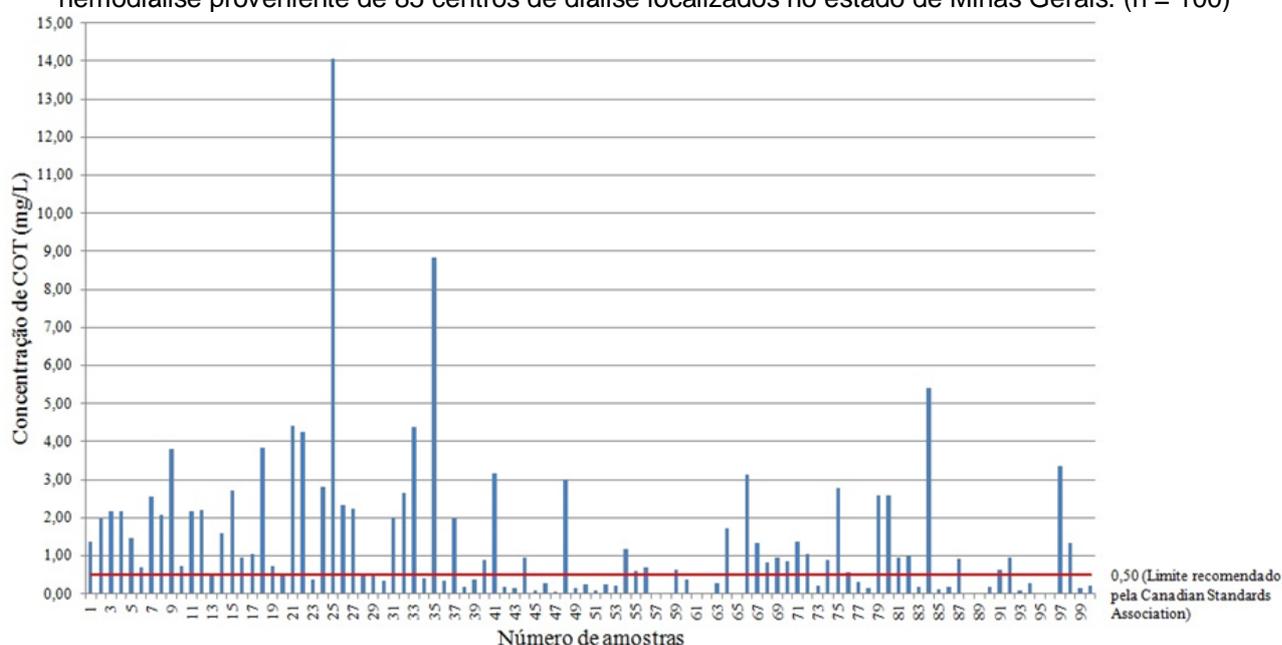
Realizou-se uma análise estatística descritiva dos dados, que contemplou o número de amostras analisadas, valor mínimo, valor máximo, média aritmética, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, para cada parâmetro de qualidade avaliado. O efeito do local de coleta das amostras, considerando as quatro mesorregiões com maiores números de amostras analisadas, foi testado. Primeiramente, foi testada a normalidade dos dados por meio do Teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variância entre os grupos foi avaliada pelo Teste F. Como os dados não apresentaram distribuição normal nem homogeneidade de variâncias entre as quatro mesorregiões, as diferenças entre as medianas das concentrações dos parâmetros foram testadas utilizando o teste de *Mann-Whitney*. Para verificar as relações entre as variáveis, foram determinados os graus de correlação segundo o coeficiente de correlação de *Spearman* (FIELD, 2005).

Vale ressaltar que o nível de significância adotado para todas as análises estatísticas foi de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e o pacote estatístico utilizado foi o software R (versão 3.4.2), além do software Excel (versão 2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao COT, do total das 100 amostras de água para hemodiálise analisadas no presente estudo, 61 apresentaram concentrações superiores ao limite recomendado pela *Canadian Standards Association* (0,50 mg/L). Dentre elas, 39 amostras (64%) apresentaram valores superiores ao dobro do limite canadense (1,0 mg/L), sendo que o valor máximo encontrado foi de 14,1 mg/L, ou seja, 28 vezes maior que o limite recomendado pela *Canadian Standards Association* (Figura 5).

**Figura 5** - Concentrações de carbono orgânico total (COT) em amostras de água tratada para hemodiálise proveniente de 85 centros de diálise localizados no estado de Minas Gerais. (n = 100)



Os resultados de COT observados na água de hemodiálise do estado de Minas Gerais foram maiores que os resultados de COT na água de hemodiálise reportados na região da Palestina. No estudo de Abualhasan et al. (2018), foram avaliadas amostras de 8 centros de diálise. Os resultados de COT foram considerados altos pelos pesquisadores, que consideraram como limite aceitável os mesmos 0,50 mg/L considerados no presente estudo. A maior concentração de COT encontrada pela equipe da Palestina foi de 6,14 mg/L e a menor concentração foi de 1,12 mg/L (ABUALHASAN et al., 2018). Ou seja, o valor máximo encontrado nas águas de hemodiálise de Minas Gerais foi aproximadamente 2,3 vezes maior que o valor máximo encontrado pela equipe da Palestina.

Para uma avaliação geral dos parâmetros analisados, inicialmente foram calculadas as médias, medianas, desvios padrão e coeficientes de variação de cada parâmetro. Os valores obtidos são encontrados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Análise estatística descritiva dos resultados dos parâmetros avaliados na água para hemodiálise dos 85 centros de diálise no Estado de Minas Gerais.

Parâmetro	Quantidade de amostras	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
COT* (mg/L)	100	< 0,05	14,1	1,4	0,76	1,9	138
Condutividade (µS/cm)	99	< 1,0	21,6	4,7	3,2	3,9	83,1
Fluoreto (mg/L)	63	< 0,05	0,31	0,05	< 0,05	0,05	106
Sulfato (mg/L)	88	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	0,0	0,0
Endotoxina Bacteriana (EU/mL)	100	< 0,125	0,5	0,13	< 0,125	0,14	104
Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	99	< 1,0	88	5,6	< 1,0	15,3	275
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (NMP/100 mL)	83	< 1,1	1,1	< 1,1	< 1,1	0,06	10,7

\*Carbono Orgânico Total, parâmetro não mencionado pela Resolução ANVISA RDC nº 11/2014.

Observa-se que os parâmetros bactérias heterotróficas, COT, fluoreto, endotoxina bacteriana e condutividade são os que apresentam os maiores coeficientes de variação, mostrando que esses parâmetros apresentam amostras mais heterogêneas. O parâmetro coliformes totais, por ser uma variável qualitativa (ausência ou presença), não permite o cálculo de desvio padrão e coeficiente de variação. Por isso não foi incluído na análise da estatística descritiva.

Com relação ao atendimento à legislação, foi possível observar que, dentre os parâmetros estabelecidos na Resolução RDC nº 11/2014, condutividade e endotoxina bacteriana foram os que apresentaram os maiores índices de inconformidades, 12% e 14%, respectivamente (Tabela 6). Mas ao incluirmos o COT na análise, ele apresenta o maior índice de insatisfatoriedade, de 61% (Tabela 6). Apesar da endotoxina ter apresentado o maior índice de inconformidade (14%) dentre os parâmetros avaliados na legislação, ela também teve um índice muito elevado de amostras abaixo do LQ (71%) (Tabela 6). Esse fato não foi observado

para o parâmetro condutividade, que apresentou apenas 1% das amostras abaixo de seu LQ, nem para o COT, com apenas 8% de suas amostras abaixo do LQ (Tabela 6).

**Tabela 6** - Número de resultados obtidos abaixo dos limites de quantificação (LQs), entre os LQs e os valores máximos permitidos (VMPs) e acima dos VMPs definidos na Resolução RDC nº 11/2014 para cada parâmetro.

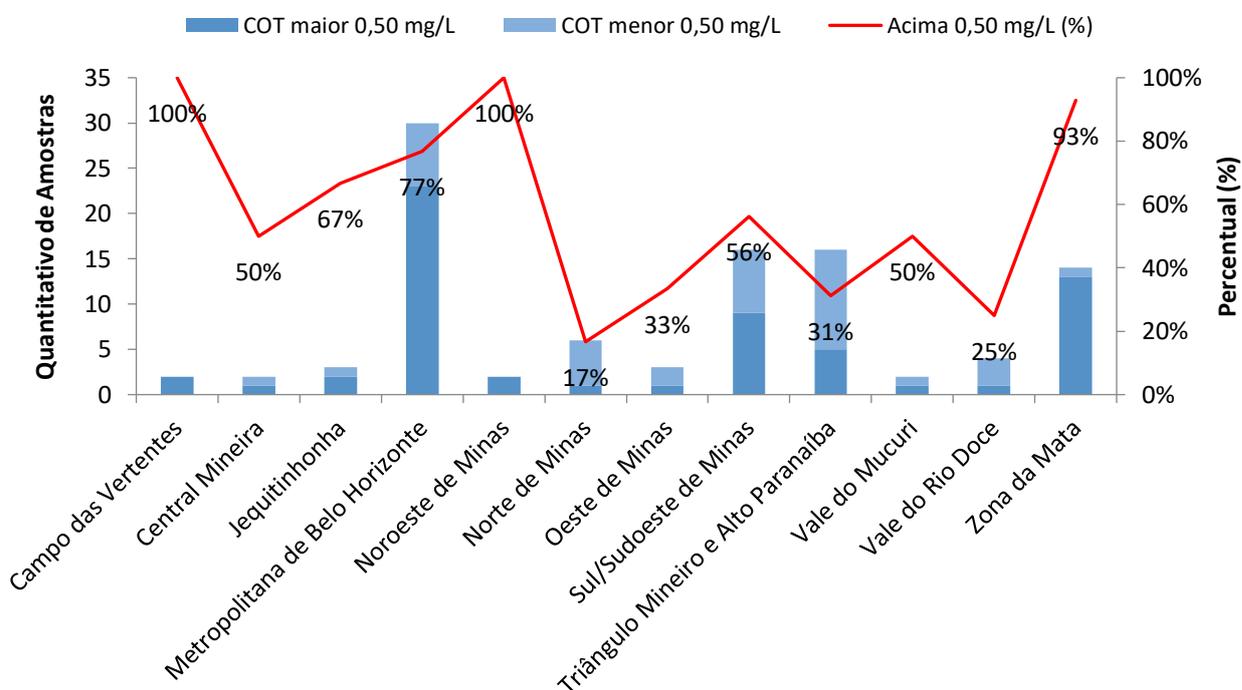
Parâmetro	<LQ	≥LQ e ≤VMP	>VMP	Total de Amostras
COT <sup>1</sup> (mg/L)	8 (8%)	31	61 (61%)	100
Condutividade (µS/cm)	1 (1%)	87	12 (12%)	100
Fluoreto (mg/L)	36 (57,1%)	25	2 (3,2%)	63
Sulfato (mg/L)	88 (100%)	-	-	88
Endotoxina bacteriana (EU/mL)	71 (71%)	15	14 (14%)	100
Bactéria heterotrófica (UFC/mL)	61 (61,6%)	38	-	99
Coliformes totais (Ausência em 100 mL)	-	-	2 (2%)	100
<i>Pseudomona aeruginosa</i> <sup>2</sup> (NMP/100 mL)	82 (98,8%)	1 <sup>3</sup>	-	83

<sup>1</sup>Para o parâmetro Carbono Orgânico Total (COT), o VMP considerado foi o limite estabelecido pela *Canadian Standards Association* (0,50 mg/L), uma vez que a Resolução ANVISA RDC nº 11/2014 não faz menção a este parâmetro; <sup>2</sup>Parâmetro não mencionado pela Resolução ANVISA RDC nº 11/2014, mas cujo monitoramento é indicado pela Farmacopéia Americana; <sup>3</sup>Valor encontrado foi exatamente o valor de LQ (1,1).

Assim, considerando-se todas as 100 amostras de água para hemodiálise analisadas no período de 2017 referentes aos 85 serviços de diálise do estado de Minas Gerais, 25 amostras (25%) apresentaram pelo menos um parâmetro citado pela legislação brasileira, acima do seu VMP, estando assim em desconformidade com a norma. Sendo que, como mencionado anteriormente, se considerado o COT nessa avaliação, esse valor de insatisfatoriedade aumenta para 61% das amostras.

O nível de insatisfatoriedade para o COT também foi avaliado por mesorregião (Figura 6).

**Figura 6** - Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro carbono orgânico total (COT) (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores que 0,50 mg/L, total de amostras menores que 0,50 mg/L e percentual de resultados acima de 0,50 mg/L. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100).



As mesorregiões que apresentaram maiores porcentagens de amostras com concentração acima da recomendada pela Candian Standards Association foram Campo das Vertentes e Noroeste de Minas (100%), seguidas pela mesorregião da Zona da Mata (93%), Metropolitana de Belo Horizonte (77%), Jequitinhonha (67%) e Sul/Sudoeste de Minas (56%) (Figura 6). Porém, deve-se ressaltar que apesar dos percentuais elevados observados nas mesorregiões Campo das Vertentes e Noroeste de Minas, apenas 2 amostras foram analisadas em ambas as mesorregiões (Tabela 2). No entanto, a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, que teve o maior número de amostras analisadas (30 amostras, Tabela 2) também apresentou um percentual elevado (77%) de concentração de COT acima do recomendado pela norma canadense (Figura 6).

A mesorregião que apresentou maior valor máximo, foi a Sul/Sudoeste de Minas (14,1 mg/L), sendo também a com maior valor de desvio padrão e coeficiente de variação, indicando que essa é a mesorregião com maior heterogeneidade das amostras (Tabela 7).

**Tabela 7** - Análise estatística descritiva do parâmetro COT (mg/L) avaliado na água para hemodiálise das mesorregiões do estado de Minas Gerais com maiores quantidades de amostras.

Mesorregião	Quantidade de amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Metropolitana de BH	30	<0,05	4,4	1,6	1,2	1,3	81,9
Triângulo e Alto Paranaíba	16	<0,05	3,1	0,57	0,19	0,85	150
Zona da Mata	14	<0,05	4,4	2,0	2,1	1,2	59,0
Sul/Sudoeste de Minas	16	<0,05	14,1	1,8	0,51	3,6	197

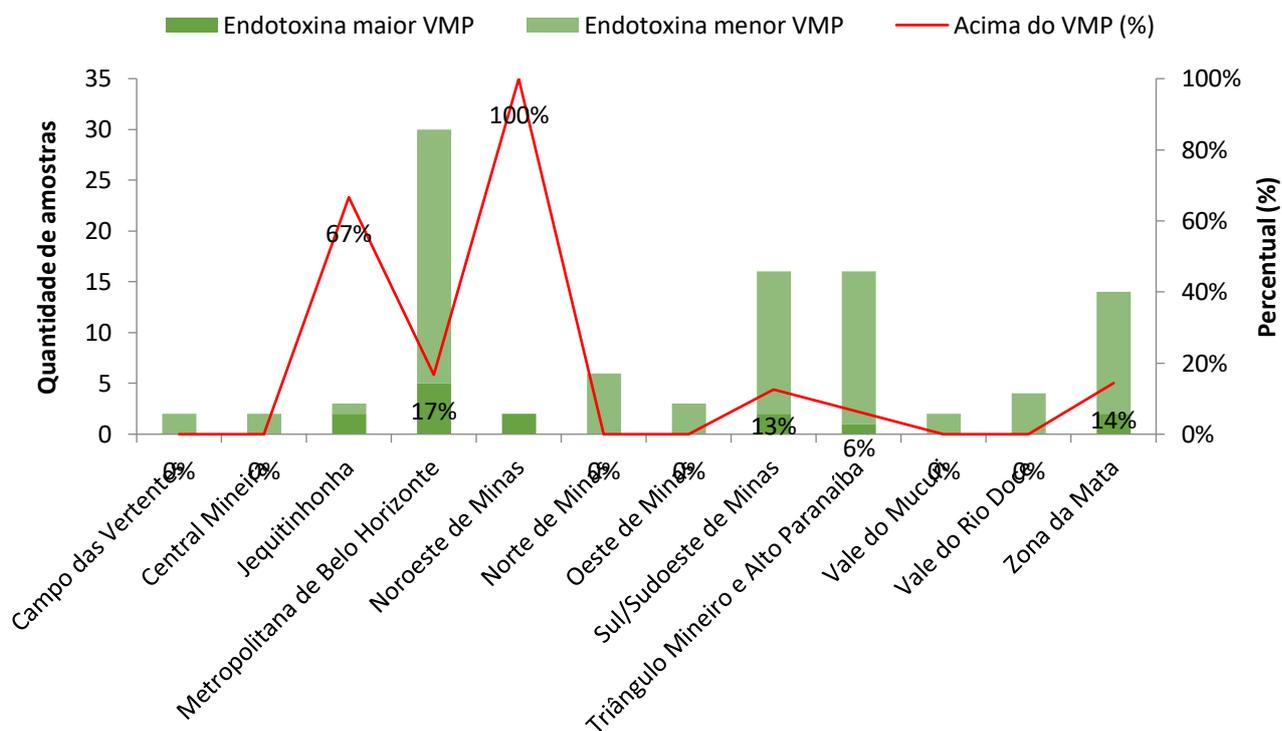
As diferenças nas concentrações de COT também foram avaliadas para as quatro mesorregiões com maior número de amostras analisadas (Metropolitana de Belo Horizonte, Sul/Sudoeste de Minas, Triângulo e Alto Paranaíba e Zona da Mata). Observa-se que a Zona da Mata foi a mesorregião que apresentou concentrações mais elevadas que as mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba ( $p < 0,05$ ), e não apresentou diferenças significativas nas concentrações de COT em comparação com a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte ( $p > 0,05$ , Tabela 8). De fato, os serviços de diálise que compõem as mesorregiões Zona da Mata e Metropolitana de Belo Horizonte apresentaram elevados percentuais de resultados de COT acima do valor recomendado pela *Canadian Standard Association* (Figura 6). Esses serviços necessitam de um acompanhamento sistemático dos agentes de saúde visando à garantia da qualidade da água tratada para hemodiálise e conseqüentemente a segurança dos pacientes renais.

**Tabela 8** - Resultados das comparações das medianas de COT em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais (p-valores do Teste de *Mann-Whitney*).

COT	Metropolitana de BH	Sul/Sudoeste	Triângulo e Alto Paranaíba	Zona da Mata
Metropolitana de BH	-	-	-	-
Sul/Sudoeste	p = 0.1193	-	-	-
Triângulo e Alto Paranaíba	p = 0.0016	p = 0.2991	-	-
Zona da Mata	p = 0.2123	p = 0.029	p = 0.0003	-

Ao avaliarmos o nível de insatisfatoriedade por mesorregião para o parâmetro endotoxina bacteriana, é possível perceber que a mesorregião com maior percentual de amostras acima do VMP é a Noroeste de Minas (100%), seguida pela mesorregião do Jequitinhonha (67%) e Metropolitana de Belo Horizonte (17%), Zona da Mata (14%) e Sul/Sudoeste de Minas (13%) (Figura 7). Ressaltando, assim como aconteceu para o COT, que apesar dos percentuais elevados observados na mesorregião Noroeste de Minas, apenas 2 amostras foram analisadas (Tabela 2).

**Figura 7** - Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro endotoxina bacteriana (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores VMP, total de amostras menores que VMP e percentual de resultados acima do VMP. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100).



Tanto a mesorregião Metropolitana de BH, quanto Zona da Mata e Sul/Sudoeste de Minas apresentaram valores máximo idênticos, porém a Metropolitana de BH apresentou maior coeficiente de variação, o que indica que essa mesorregião apresenta uma maior heterogeneidade das amostras (Tabela 9).

**Tabela 9** - Análise estatística descritiva do parâmetro endotoxina bacteriana (EU/mL) avaliado na água para hemodiálise das mesorregiões do Estado de Minas Gerais com maiores quantidades de amostras.

Mesorregião	Quantidade de amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
Metropolitana de BH	30	<0,125	0,50	0,14	0,06	0,14	101
Triângulo e Alto Paranaíba	16	<0,125	0,36	0,09	0,06	0,08	87,3
Zona da Mata	14	<0,125	0,50	0,06	0,14	0,13	98,9
Sul/Sudoeste de Minas	16	<0,125	0,50	0,14	0,06	0,14	99,5

Quando comparadas as quatro mesorregiões, observa-se a falta de diferenças significativas entre as concentrações de endotoxina bacteriana ( $p > 0,05$ , Tabela 10).

**Tabela 10** - Resultados das comparações das medianas de endotoxina bacteriana em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais (p-valores do Teste de *Mann-Whitney*).

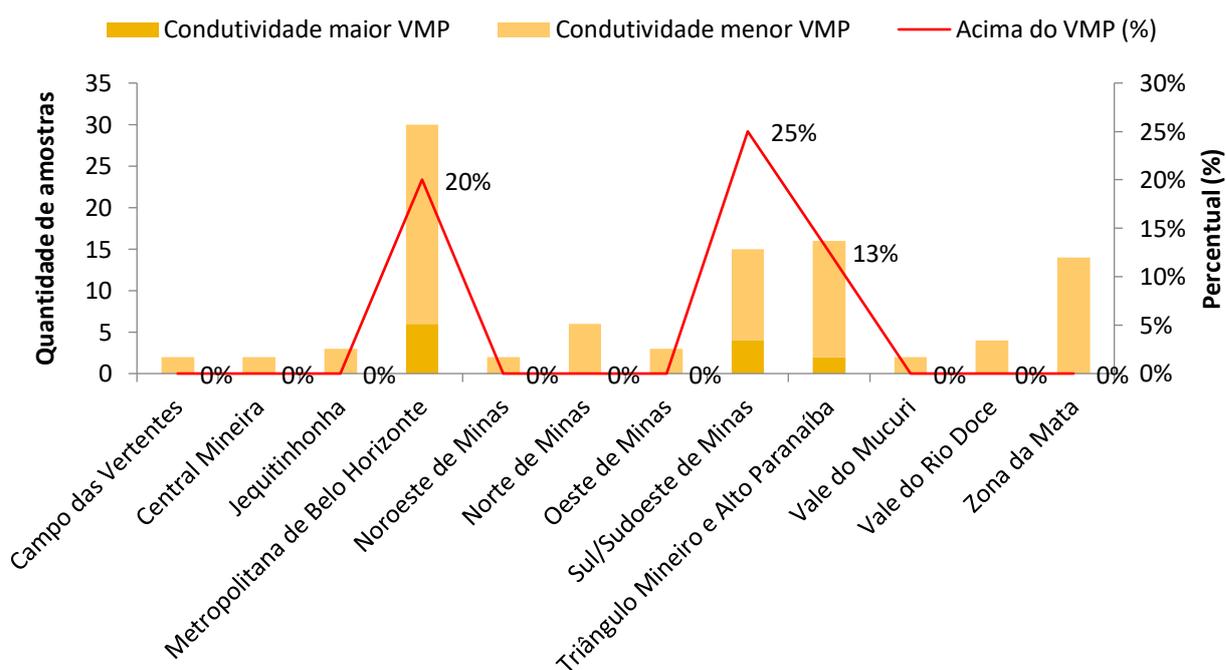
Endotoxina Bacteriana	Metropolitana de BH	Sul/Sudoeste	Triângulo e Alto Paranaíba	Zona da Mata
Metropolitana de BH	-	-	-	-
Sul/Sudoeste	$p = 0.05414$	-	-	-
Triângulo e Alto Paranaíba	$p = 0.4775$	$p = 0.2418$	-	-
Zona da Mata	$p = 0.6841$	$p = 0.8655$	$p = 0.3222$	-

Os resultados indicam que as mesorregiões o único centro de diálise da mesorregião Noroeste de Minas e os dois centros de diálise da mesorregião Jequitinhonha e Noroeste de Minas, necessitam de atenção especial dos agentes de saúde de modo a garantir a integridade da saúde dos pacientes, uma vez que apresentaram mais de 50% de suas amostras com valor acima do recomendado.

Vale ressaltar que, comparando as mesorregiões que apresentaram endotoxina bacteriana e COT com valores acima do VMP, foi possível observar que, das seis mesorregiões com endotoxina acima do permitido (Noroeste de Minas, Jequitinhonha, Metropolitana de BH, Zona da Mata, Sul/Sudoeste de Minas e Triângulo e Alto Paranaíba), cinco também apresentaram concentrações de COT elevadas (Noroeste de Minas, Jequitinhonha, Metropolitana de BH, Zona da Mata Sul/Sudoeste de Minas) (Figuras 6 e 7).

Para a condutividade, as mesorregiões com maiores índices de amostras em desacordo com a legislação foram a Sul/Sudoeste de Minas (25%), a Metropolitana de Belo Horizonte (20%) e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (13%) (Figura 8).

**Figura 8** - Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro condutividade (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores VMP, total de amostras menores que VMP e percentual de resultados acima do VMP. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100).



Porém, apesar da mesorregião Sul/Sudoeste de Minas ter apresentado maior índice de insatisfatoriedade, maior valor máximo de condutividade foi observado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (21,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mesorregião onde o desvio padrão e coeficiente de variação também foram maiores (Tabela 11).

**Tabela 11** - Análise estatística descritiva do parâmetro condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) avaliado na água para hemodiálise das mesorregiões do estado de Minas Gerais com maiores quantidades de amostras.

Mesorregião	Quantidade de amostras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
Metropolitana de BH	30	<1,0	20,6	5,2	2,6	4,6	89,6
Triângulo e Alto Paranaíba	16	1,3	21,6	4,7	3,1	5,3	112
Zona da Mata	14	1,3	6,4	2,9	2,5	1,6	53,3
Sul/Sudoeste de Minas	15	2,0	12,9	6,0	4,5	4,1	64,9

Na comparação entre as mesorregiões, apenas a Sul/Sudoeste de Minas apresentou resultados médios de condutividade significativamente maiores que os da Zona da Mata apresentaram ( $p < 0,05$ , Tabela 12). De fato, a mesorregião Sul/Sudoeste teve o maior percentual de insatisfatoriedade e a Zona da Mata não teve nenhuma amostra acima do VMP (Figura 8).

**Tabela 12** - Resultados das comparações das medianas de condutividade em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais ( $p$ -valores do Teste de *Mann-Whitney*).

Condutividade	Metropolitana de BH	Sul/Sudoeste	Triângulo e Alto Paranaíba	Zona da Mata
Metropolitana de BH	-	-	-	-
Sul/Sudoeste	$p = 0.1231$	-	-	-
Triângulo e Alto Paranaíba	$p = 0.8626$	$p = 0.1785$	-	-
Zona da Mata	$p = 0.5534$	$p = 0.01731$	$p = 0.3933$	-

As comparações das concentrações dos parâmetros COT, endotoxina bacteriana e condutividade entre as quatro mesorregiões com maiores números de amostras não indicaram uma tendência ou destaque para uma mesorregião em

particular. Concentrações desses parâmetros na água para hemodiálise provenientes dos centros de diálise localizados nessas mesorregiões são, de uma forma geral, similares. Isto provavelmente ocorreu devido aos elevados desvios padrão e coeficientes de variação dos resultados. Coeficientes de variação muito alto demonstram a heterogeneidade das amostras, que pode estar relacionada com a falta de padronização no tratamento da água dessas mesorregiões.

Os estudos das relações entre as variáveis não indicaram correlações significativas entre o parâmetro COT e os demais parâmetros (Tabela 13). Isto provavelmente ocorreu devido ao elevado número de resultados abaixo dos LQ's dos métodos de análises. Constatou-se correlação significativa apenas entre a condutividade e o fluoreto ( $r = 0,38$ ;  $p < 0,05$ ) (Tabela 13). Correlação que já era esperada, uma vez que o fluoreto, por possuir carga negativa, confere à água capacidade de conduzir corrente elétrica.

Eram esperadas correlações significativas entre o COT e os parâmetros microbiológicos, uma vez que a presença de COT indica, indiretamente, presença de possíveis microcontaminantes orgânicos (microalgas, cianobactérias, vírus, bactérias protozoários, entre outros compostos) (DANTAS et al., 2018).

Porém, apesar de não terem sido encontradas correlações significativas entre COT e os demais parâmetros, não pode-se descartar alguma relação entre eles, principalmente com os parâmetros microbiológicos. Isso pode ser demonstrado pelo fato de que as mesorregiões que apresentaram endotoxina acima do VMP, apresentaram também elevados percentuais de COT.

Tabela 13 - Matriz de correlação de Spearman para os parâmetros avaliados ( $p < 0,05$ ).

Parâmetros	COT	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Condutividade	Fluoreto	Endotoxina Bacteriana	Bactérias Heterotróficas
<b>COT</b>	-	-	-	-	-	-
<b><i>Pseudomonas aeruginosa</i></b>	r=0.12 P=0.2622	-	-	-	-	-
<b>Condutividade</b>	r=-0.01 P=0.8966	r=0.00 P=0.9666	-	-	-	-
<b>Fluoreto</b>	r=0.06 P=0.6276	r=0.22 P=0.1356	r=0.38 P=0.0019	-	-	-
<b>Endotoxina Bacteriana</b>	r=0.04 P=0.6585	r=-0.07 P=0.5570	r=0.18 P=0.0721	r=0.08 P=0.5477	-	-
<b>Bactérias Heterotróficas</b>	r=-0.14 P=0.1742	r=0.08 P=0.4387	r=0.20 P=0.0510	r=-0.01 P=0.9670	r=0.08 P=0.4267	-

## 6. CONCLUSÕES

A partir da realização do presente trabalho foi possível perceber que, se considerado o limite máximo estabelecido pela *Canadian Standards Association*, o COT foi o parâmetro que apresentou maior índice de insatisfatoriedade (61%), seguida pela concentração de endotoxinas bacterianas (14%) e condutividade (12%).

Conclui-se que a qualidade da água utilizada para hemodiálise nos centros de diálise do estado de Minas Gerais está aquém do desejável. Soma-se a isso, o fato de que 25% das amostras analisadas apresentaram pelo menos um parâmetro acima do VMP pela legislação. É importante ressaltar também a elevada variabilidade dos resultados de COT, endotoxina bacteriana e condutividade entre os centros, que pode ser percebido avaliando o desvio padrão do parâmetro. Isso pode indicar não padronização do sistema de tratamento de água. De forma geral, a situação não pode ser considerada satisfatória, uma vez que das 12 mesorregiões do Estado, 8 mesorregiões (67%) apresentaram 50% de suas amostras ou mais com concentração de COT acima do recomendado.

Devido à alta concentração de COT, a água para hemodiálise pode estar susceptível à formação dos THMs, considerando que o cloro é um desinfetante comumente utilizado nas estações de tratamento de água no Estado. Ainda, os níveis de COT encontrados podem indicar a presença de algas e compostos excretados por elas, muitos deles tóxicos, o que colocaria em risco a vida do paciente hemodialítico.

Os resultados não indicaram relação entre COT e os demais parâmetros, provavelmente devido ao elevado número de dados abaixo dos LQs dos métodos. No entanto, observou-se que as mesorregiões que apresentaram resultados de COT elevados também apresentaram altas concentrações de endotoxina bacteriana. Ressalta-se a necessidade da realização de mais estudos na área, analisando uma maior quantidade de amostras de água para hemodiálise, para avaliar a existência de correlação entre ele e os demais parâmetros já abordados na RDC nº 11/2014. Assim, será possível considerar a importância do COT como um parâmetro de monitoramento da qualidade da água para hemodiálise.

## 7. PRODUÇÃO CIENTÍFICA

A referência da publicação deste trabalho encontra-se a seguir:

### 7.1 Artigo em anais de eventos

CAMPOS, A. S.; SILVA, C. A. O.; PEREIRA, F. R.; RIBEIRO, G. .; PEREIRA, A. A. Avaliação da concentração de carbono orgânico total em água de hemodiálise no Estado de Minas Gerais. In: **Anais do 14º Congresso ABES/SIBESA 2018**. Foz do Iguaçu: ABES, 2018.

### 7.2 Resumo em anais de eventos

CAMPOS, A. S.; PEREIRA, F. R.; RIBEIRO, G. B.; SILVA, C. A. O.; LOURENÇO, B. D. S.; CAETANO, R. M.; SILVA, J. C.; SOARES, A. C. C.; PEREIRA, A. A. Água tratada para hemodiálise em Minas Gerais: avaliação e correlação entre parâmetros de qualidade. In: **Anais do 8º Simpósio Brasileiro de Vigilância Sanitária**. Belo Horizonte: Abrasco, 2019.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUALHASAN et al. Quality of water used in Palestinian homedialysis centers. **Public Health**, v. 165, p. 136-141, 2018.

ALMODÓVAR, A. A. B.; BUZZO, M. L.; SILVA, F. P. L.; HILINSKI, E. G.; BUGNO, A. Efetividade do programa de monitoramento da qualidade da água tratada para diálise no estado de São Paulo. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, v. 40, n. 4, p.344-350, 2018.

ALVARENGA, J. A. Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consumo humano. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, **Escola de Engenharia**, Belo Horizonte, 2010.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22 Ed. Washington DC, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 17.025. **Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração**. ABNT, 2005.

AZEREDO, Pedro. **Osmose Inversa**. 2014. Disponível em: <<https://www.hidraulicart.pt/osmose-inversa/>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 29 set. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 11, de 13 de março de 2014. Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 mar. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 33, de 03 de junho de 2008. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise no Sistema Nacional de Vigilância Sanitária. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 mar. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília, 2013. 150p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 154, de 15 de junho de 2004. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos Serviços de Diálise. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jun. 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC Nº 8, de 2 de janeiro de 2001. Estabelece o Regulamento Técnico que institui as boas práticas de fabricação do Concentrado Polieletrólitos para Hemodiálise - CPHD. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria 82, de 03 de janeiro de 2000. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos serviços de diálise e as normas para cadastramento destes junto ao Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria 2.042, de 11 de outubro de 1996. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos Serviços de Terapia Renal Substitutiva e as normas para cadastramento desses estabelecimentos junto ao Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 nov. 1996.

BRASIL. [Constituição (1998)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 out. 1988.

BROOKS, E.; FREEMAN, C.; GOUGH, R.; HOLLIMAN, P.J. Tracing dissolved organic carbon and trihalomethane formation potential between source water and finished drinking water at a lowland and an upland UK catchment. **Science of the Total Environment**, v. 537, p. 203-212, 2015.

BUGNO, A.; ALMODÓVAR, A. A. B.; PEREIRA, T. C.; AURICCHIO, M. T. Detecção de bactérias Gram-negativas não fermentadoras em água tratada para diálise. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 66, n. 2, p. 172-175, 2007.

DANTAS, A. D.; BERNARDO, L. D.; VOLTAN, P. E. N.; KOYAMA, M. H. Eficiência de remoção de carbono orgânico total em eta de ciclo completo no tratamento de água superficial contaminada – estudo de caso. **Portal Tratamento de Água**. 2018.

DEUS, B. P. M.; HOERB, A.; ZANON, R. B.; MORAES, P. S.; AGRA, H. C. Sintomas e aplicações agudas relacionadas com a hemodiálise. **Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção**, v. 5, n. 1, p. 52-56, 2015.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2.ed. São Carlos: RiMa, 2005. v.2, 729 p.

DOMINGUES, V. O.; TAVARES, G. D.; STÜKER, F.; MICHELOT, T. M.; REETZ, L. G. B.; BERTONCHELI, C. M.; HÖRNER, R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Revista do Centro de Ciências da Saúde**, v. 33, n. 1, p. 15-19, 2007.

FARIA, P. G. S. Alternativas para reaproveitamento do rejeito do tratamento de água em clínica de hemodiálise. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Departamento Acadêmico de Construção Civil**, Curitiba, 2011.

FERREIRA, B. C. S.; LIMA, R. M. F.; LEÃO, V. A. Remoção de sulfato de efluentes industriais por precipitação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 361-368, out./dez. 2011.

FIELD, A. **Discovering statistics using SPSS**. 2. ed. London: Sage Publications, 2005. 779 p.

FRAZÃO, P.; PERES, M. A.; CURY, J. A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. **Revista de Saúde Pública**, v. 45, n. 5, p. 964-973, 2011.

FUKUMORI, N. Determinação de endotoxina bacteriana (pirogênio) em radiofármacos pelo método de formação de gel. 2008. Dissertação (Mestrado Em Ciências). Universidade de São Paulo, **Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares**, São Paulo, 2008.

GONG, J.; RAN, Y.; CHEN, D.; YANG, Y.; ZENG, E. Y. Association of endocrine-disrupting chemicals with total organic carbon in riverine water and suspended particulate matter from the pearl river, China. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 31, n. 11, p. 2456-2464, 2012.

GREBIN, S. Z.; ECHEVEST, M. E. S.; MAGNAGO, P. F.; TANURE, R. L. Z.; PULGATI, F. H. Estratégia de análise para avaliação da usabilidade de dispositivos médicos na percepção do usuário: um estudo com pacientes em tratamento de hemodiálise. **Caderno de Saúde Pública**, v. 34, n. 8, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabelas - Mesorregiões, microrregiões, municípios, distritos, subdistritos e bairros dos estados brasileiros. **Censo 2010**.

INMETRO. **Orientações sobre validação de métodos analíticos**. Documento de caráter orientativo: DOQ-CGCRE-008: revisão 06, ago./2016, Rio de Janeiro, 2016.

JESUS, G. P.; ALMEIDA, A. A. Principais problemas gerados durante a terapia de hemodiálise associados à qualidade da água. **Revista Eletrônica Atualiza Saúde**. Salvador, v. 3, n. 3, p. 41-52, jan./jun. 2016.

LIBÂNIO, M.; LIBÂNIO, P.A.C.; COSTA, B. M. P.; VON SPERLING, E. Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 4, p.41-55, 2000.

LIRA, C. L. O. B.; AVELAR, T. C.; BUENO, J. M. M. H. *Coping* e qualidade de vida de pacientes em hemodiálise. **Estudos Interdisciplinares em Psicologia**, Londrina, v. 6, n. 1, p. 82-99, jun. 2015.

MACÊDO, J. A. B.; ANDRADE, N. J.; ARAÚJO, J. M. A.; CHAVES, J. P.; SILVA, M. T. C.; JORDÃO, C. P. Cloraminas orgânicas, uma solução para evitar a formação de trihalometanos no processo de desinfecção de águas para abastecimento público. **Revista de Higiene Alimentar**. v. 15, n. 90/91, p. 93-103, 2001.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Caderno de Saúde Pública**. v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.

MIETO, F. S. R.; BOUSSO, R. S. A experiência materna em uma unidade de hemodiálise pediátrica. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, v. 36, n. 4, p. 460-468, 2014.

MORAES, J. E.; QUINÁIA, S. P.; TAKATA, N. H.; FÜRSTENBERGUER, C. B. Determinação do índice de fluoreto em águas de abastecimento público em municípios da região centro-sul do Paraná. **Ambiência**, v. 5, n. 2, p. 233-246, maio/ago. 2009.

MOSSINI, S. A. G.; TOMOIKE, C.; KOHIYAMA, C. Y.; YAMADA, S. S.; SILVA, S. R. B.; GARCIA, L. B.; TOGNIM, M. C. B.; BANDO, E.; NISHIYAMA, P. Qualidade da água utilizada para equipamentos de hemodiálise em unidade de terapia intensiva. **Vigilância Sanitária em Debate**, v. 2, n. 3, p. 37-43, 2014.

MÜLLER, C. C.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T.; CYBIS, L. F. Adsorção em carvão ativado em pó para remoção de microcistina de água de abastecimento público. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 29-38, 2009.

PAYNE, G. M.; CURTIS, J. Water Treatment for Hemodialysis: What you must know to keep your patients safe. **Nephrology Nursing Journal**, v. 45, n. 2, p. 141-167, mar./apr., 2018.

PÉREZ, G. R; RODRÍGUEZ, B. P. La calidad Del líquido de hemodiálisis. In: **II Congresso Internacional de Nefrologia, 2001**. Havana. Disponível em: <<http://www.uninet.edu/cin>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PERKIN ELMER. **Recommended analytical conditions and general information**. PN: B050-1820, Release 4.0. Germany, chapter 2, 20-21p. 1996.

RAMIREZ, S. S. Água para hemodiálise no estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dados gerados pelo programa de monitoramento da qualidade nos anos de 2006-2007. Monografia (Especialização). Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, **Fundação Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, 2009.

SANCHES, S. M.; PRADO, E. L.; FERREIRA, I. M.; BRAGA, H. F.; VIEIRA, E. M. Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e medidas de controle. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 33, n. 2, p. 181-187, 2012.

SAÚDE BIAZI (Brasil). **Diálise e Hemodiálise**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://biazi.br.tripod.com/saudebiazi/id14.html>>. Acesso em 20 abr. 2019.

SILVA, A. M. M.; MARTINS, C. T. B.; FERRABOLI, R.; JORGETTI, V.; JUNIOR, J. R. R. Revisão/Atualização em diálise: água para hemodiálise. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, v. 18. n. 2, p. 180-188, 1996.

UNITED STATES PHARMACOPEIA. The National Formulary. USP 29, NF 24, p. 190, 2006.

VASCONCELOS, P.D.S. Monitoramento da água de diálise: um estudo de caso em uma clínica do município de Recife. 2012. Monografia (Curso de Especialização em Gestão de Sistemas e Serviços de Saúde) – Centro de Pesquisa Aggeu Magalhães, **Fundação Oswaldo Cruz**, Recife, 2012.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 3. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997. 573 p.

WARD, R. A. Worldwide water standards for hemodialysis. **Hemodialysis International**. v. 11, p. 18-25, 2007.