

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Química
Departamento de Química Analítica

Avaliação da Qualidade da Água Utilizada no Tratamento de Hemodiálise

Laila Toledo Lira

DRE: 106063023

Orientador: Prof. Delmo Santiago Vaitsman – D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto, 2012

Avaliação da Qualidade da Água Utilizada no Tratamento de Hemodiálise

Laila Toledo Lira

Projeto de Curso Submetido ao Corpo Docente do Instituto de Química, UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Químico com atribuições tecnológicas.

Aprovado por:

Prof. Ricardo Erthal Santelli – D.Sc.

Prof. Queli Aparecida de Almeida Passos – D.Sc.

Pesquisadora Lílian Irene Dias da Silva – M.Sc.

Orientado por:

Prof. Delmo Santiago Vaitsman – D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto, 2012

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho e me dar forças para que eu pudesse chegar até aqui.

A toda minha família, especialmente aos meus pais Nanci e Ismael, pelo apoio, incentivo e investimento nos meus estudos, tornando possível a realização deste trabalho.

Ao meu namorado Pedro Henrique, pelo companheirismo, amor e compreensão, principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao professor Dr. Delmo Santiago Vaitsman, meu orientador, pela dedicação, sugestões, ensinamentos e por estar sempre disposto a me ajudar e me orientar sempre que precisei.

À Aline e Cláudia do LaDA e a Lilian do CETEM, pela imensa ajuda nas análises e disposição em esclarecer minhas dúvidas sempre que solicitadas.

Ao Prof. Dr. Ricardo Santelli pela disponibilidade no uso do equipamento necessário para as análises.

Às amigas, Ana Carolina, Caroline, Germana, Fernanda, Jéssica Lyra, Jéssica Machado e Michelle, por fazerem parte da minha vida, pelas gargalhadas, pelo apoio e companheirismo nos estudos.

Ao Sr. Fabio Jacoby, pela preocupação, ajuda e ideias que contribuíram para este trabalho.

À CNL, principalmente às enfermeiras Ana Claudia, Bruna e Michelle e ao Dr. Renato Torres Gonçalves, pela parceria, disponibilidade da clínica para coleta das amostras e esclarecimento de todas as dúvidas.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

Insuficiência Renal Crônica (IRC) é a perda lenta, progressiva e irreversível das funções renais. Um dos tratamentos disponíveis para a doença é a hemodiálise, responsável por filtrar o sangue, eliminando as substâncias tóxicas (como a ureia) e o líquido em excesso (água e sais minerais) através da máquina de hemodiálise que funciona como “rim artificial”, a qual utiliza uma solução de diálise composta, principalmente, por água. Considerando que cada paciente é exposto a aproximadamente 120 litros de água por sessão de hemodiálise e que a água é utilizada, também, no reuso de dialisadores de uso múltiplo, é vital o monitoramento da sua qualidade química a fim de evitar consequências danosas ao paciente. Desde os anos 80, devido ao aumento de indivíduos submetidos ao tratamento de hemodiálise, foram reunidos fatos relacionando a importância dos elementos químicos presentes na água utilizada no tratamento atual com efeitos adversos provocados nos pacientes, tais como anemia, complicações ósseas, hipertensão, desordem neurológica progressiva, náusea e vômito, pois até os anos 70 estes efeitos não estavam relacionados com a qualidade da água. Portanto, estas ocorrências levaram ao estabelecimento de padrões mínimos de qualidade da água utilizada no tratamento de hemodiálise, que no Brasil, atualmente, são definidos na Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 (republicada em 31 de maio de 2006) - ANVISA. Assim, além de considerações importantes quanto ao tratamento de hemodiálise foram determinados, experimentalmente, os elementos alumínio, cobre, sódio, cálcio, magnésio, potássio e zinco, utilizando-se a Fotometria de chama e a Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente. Os resultados das amostras de água coletadas nas quatro etapas do sistema de purificação empregado na Clínica Nefrológica (CNL) – São Gonçalo demonstraram que os teores dos elementos químicos estudados, após a última etapa do tratamento, encontravam-se abaixo dos valores máximos permitidos pela RDC nº 154/2004 – ANVISA (com exceção do alumínio que não foi possível afirmar o valor devido à baixa sensibilidade dos equipamentos), assegurando, assim, a saúde dos seus pacientes.

ÍNDICE

I - INTRODUÇÃO.....	11
I.1 – Conceito da Insuficiência Renal Crônica e dos tratamentos disponíveis para a doença.....	11
I.2 – A Insuficiência Renal Crônica no Brasil.....	12
I.2.1 – Dados gerais.....	13
I.2.2 – Total estimado de pacientes em tratamento dialítico por ano.....	13
I.2.3 - Porcentagem de pacientes em diálise conforme a fonte pagadora.....	14
I.2.4 - Distribuição de pacientes em diálise conforme a faixa etária.....	15
I.2.5 - Diagnóstico de base dos pacientes em diálise.....	15
I.3 – O tratamento de hemodiálise.....	16
I.4 – O tratamento da água utilizada na hemodiálise.....	18
I.4.1 – Pré-tratamento.....	20
I.4.1.1 – Filtro de areia.....	20
I.4.1.2 – Filtro abrandador.....	21
I.4.1.3 – Filtros de carvão.....	21
I.4.2 – Tratamento por Osmose Reversa.....	22
I.4.3 – Tanque de armazenagem.....	23
I.5 – A Resolução RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 - ANVISA.....	23
I.6 – As principais características e efeitos dos elementos químicos selecionados em pacientes submetidos ao tratamento de hemodiálise.....	28
I.6.1 – Alumínio.....	28
I.6.2 – Cobre.....	29

I.6.3 – Sódio.....	29
I.6.4 – Cálcio.....	29
I.6.5 – Potássio.....	30
I.6.6 – Zinco.....	30
I.6.7 – Magnésio.....	31
II - OBJETIVOS.....	32
III - MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
III.1 - Materiais.....	33
III.2 – Equipamentos	33
III.3 – Procedimento experimental.....	34
III.3.1 – Amostragem.....	34
III.3.2 – ICP-OES.....	35
III.3.3 – Fotômetro de chama.....	36
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
IV.1 – ICP-OES.....	37
IV.1.1 – Curvas analíticas.....	37
IV.1.2 – Resultados.....	39
IV.2 – Fotômetro de chama.....	41
IV.2.1 – Curvas analíticas.....	41
IV.2.2 – Resultados.....	42
V - CONCLUSÃO.....	44
VI - REFERÊNCIAS.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diálise peritoneal.....	12
Figura 2: Transplante renal.....	12
Figura 3.1: Número de unidades de diálise ativas com programa crônico no Brasil, censo SBN 2011.....	13
Figura 3.2: Total estimado de pacientes em tratamento dialítico por ano, censo SBN 2011.....	14
Figura 3.3: Porcentagem de pacientes em diálise conforme a fonte pagadora, censo SBN 2011.....	14
Figura 3.4: Distribuição de pacientes em diálise conforme a faixa etária, censo SBN 2011.....	15
Figura 3.5: Diagnóstico de base dos pacientes em diálise, censo SBN 2011.....	15
Figura 4: Cilindro rotativo de Kolff - Primeira máquina de hemodiálise (1943).....	16
Figura 5: Máquina de hemodiálise.....	16
Figura 6: Processos da hemodiálise.....	17
Figura 7: Funcionamento do dialisador.....	17
Figura 8: Fluxograma do sistema de purificação da água utilizada no tratamento de hemodiálise na CNL – Alcântara, São Gonçalo.....	20
Figura 9: Filtro de areia (CNL – 18/05/2012).....	20
Figura 10: Filtro abrandador (CNL – 18/05/2012).....	21
Figura 11: Filtros de carvão (CNL – 18/05/2012).....	21
Figura 12: Funcionamento da osmose e osmose reversa.....	22

Figura 13: Fluxo tangencial em um tratamento por osmose reversa.....	22
Figura 14: Pré-membrana do tratamento por osmose reversa (CNL – 18/05/20.....)	23
Figura 15: Tratamento por osmose reversa (CNL – 18/05/2012).....	23
Figura 16: Tanque de armazenagem (CNL – 18/05/2012).....	23
Figura 17: Água de abastecimento público.....	34
Figura 18: Água antes do pré-tratamento.....	34
Figura 19: Água após o pré-tratamento.....	34
Figura 20: Água após o tratamento por osmose reversa.....	35
Figura 21: Curva analítica do alumínio - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>	37
Figura 22: Curva analítica do cobre - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>	38
Figura 23: Curva analítica do cálcio - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>	38
Figura 24: Curva analítica do zinco - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>	38
Figura 25: Curva analítica do magnésio - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>	39
Figura 26: Curva analítica do alumínio - ICP-OES, marca Horiba Jobin Yvon, mod. <i>Ultima 2</i>	39
Figura 27: Curva analítica do potássio.....	42
Figura 28: Curva analítica do sódio.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição do dialisato utilizado na hemodiálise.....	18
Tabela 2: Itens da RDC nº 154/2004 – ANVISA.....	26
Tabela 3: Quadro II da RDC nº 154/2004 - ANVISA - Padrão de qualidade da água tratada utilizada na preparação de solução para diálise.....	27
Tabela 4: Comprimentos de onda utilizados para análises dos elementos no ICP-OES.....	35
Tabela 5: Concentrações nas amostras de água coletadas na CNL.....	39
Tabela 6: Concentrações do potássio presente nas amostras de água coletadas na CNL.....	42
Tabela 7: Concentrações do sódio presente nas amostras de água coletadas na CNL.....	43

I - INTRODUÇÃO

I.1 – Conceito da Insuficiência Renal Crônica e dos tratamentos disponíveis para a doença

“A Insuficiência Renal Crônica (IRC) é a perda lenta, progressiva e irreversível das funções renais.”¹ Esta doença acontece quando os rins perdem a capacidade de excreção de água e de sais minerais, do controle da acidez do sangue, da produção de hormônios e da filtração de substâncias indesejáveis do sangue, que devem ser eliminadas através da urina, fazendo com que o líquido em excesso fique preso na circulação causando edema (inchaço).^{2,3}

Em peso, os rins são órgãos pequenos, mas cerca de 20% do sangue que sai do coração passa pelos rins.⁴

No Brasil, as duas principais causas dessa doença são hipertensão arterial sistêmica e diabetes *mellitus*, conforme a figura 3.5 mostrada no item I.2.5, e os sintomas que podem aparecer nos pacientes com IRC são anemia, falta de ar, fraqueza, inchaço, palidez, perda de apetite, náusea, vômito e alterações que podem ser identificadas através de exames de sangue, tais como aumento de ureia, creatina, potássio, entre outros.²

Os tratamentos disponíveis para a doença são: a hemodiálise, a diálise peritoneal e o transplante renal, porém, nenhum deles é curativo.⁵

A hemodiálise é um processo empregado através de um dialisador, aliviando os sintomas citados anteriormente e evitando o risco de morte associado a IRC.⁵ Este tratamento será melhor detalhado no item I.3.

Já a diálise peritoneal, conforme mostrado na figura 1, usa o peritônio, um revestimento do abdômen, onde o banho de diálise ou dialisato é introduzido por um cateter e, através dele, as substâncias tóxicas do sangue são removidas.²

A opção pela hemodiálise ou diálise peritoneal, engloba uma série de fatores como a idade do paciente, a presença de comorbidades (existência de dois ou mais problemas de saúde no paciente), a capacidade de realizar o procedimento e o entendimento do paciente sobre o tratamento.⁶

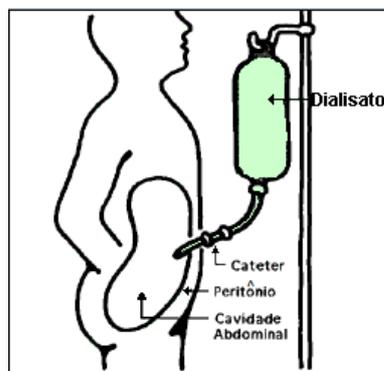


Figura 1: Diálise peritoneal.⁷

O transplante renal é um procedimento médico complexo onde é realizada a inserção de um novo rim doado (os rins doentes não são removidos, conforme mostrado na figura 2), seja por um membro da família, ou não, e até mesmo por uma pessoa falecida recentemente.⁸ Nem mesmo o transplante renal é curativo devido a necessidade de uso de medicamentos imunossupressores diariamente, para o resto da vida, a fim de evitar possível rejeição do organismo do paciente ao órgão.⁹

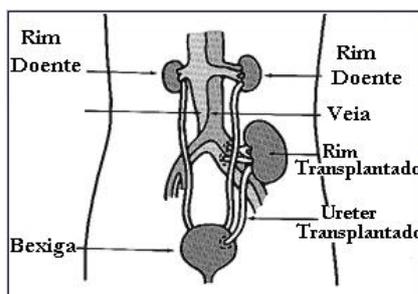


Figura 2: Transplante renal.⁷

I.2 – A Insuficiência Renal Crônica no Brasil

A Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN), desde 1999, coleta dados de Unidades Renais no Brasil. A partir do censo da SBN de 2011, foi possível obter os seguintes dados:

I.2.1 - Dados gerais

O total de unidades renais cadastradas na SBN e ativas com programa crônico, em 2011, foi de 643 (figura 3.1), porém, o número de unidades renais cadastradas que responderam ao formulário do censo foi de 353 (54,9%).¹⁰

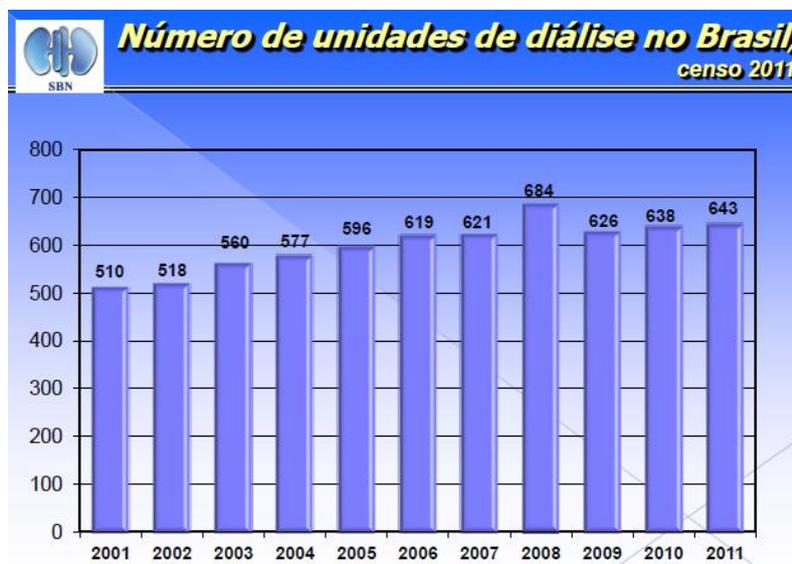


Figura 3.1: Número de unidades de diálise ativas com programa crônico no Brasil, censo SBN 2011.¹⁰

I.2.2 – Total estimado de pacientes em tratamento dialítico por ano

O total estimado de pacientes em tratamento dialítico, em 2011, foi de 91.314 (diminuição de 0,84% em relação a 2010) conforme mostrado na figura 3.2. Pode-se observar que, tanto em 2011 quanto em 2009, houve um declínio no número de pacientes, resultados que não correspondem aos dados da literatura, a qual mostra uma tendência de crescimento contínuo da IRC tanto no Brasil como em todo o mundo. Portanto, acredita-se que essa diminuição seja devido ao baixo percentual de respostas das unidades renais cadastradas ao formulário do censo, 54,9% em 2011 e 47,8% em 2008 (é mais provável que tenha ocorrido uma imprecisão na estimativa de 2008, pois em 2009, foram obtidas 69,8% de respostas das unidades).^{10,11}

Levando em consideração os dados do item anterior, conclui-se que a tendência de crescimento do número de pacientes em tratamento dialítico não é acompanhada pelo total de unidades renais cadastradas na SBN e ativas com programa crônico.

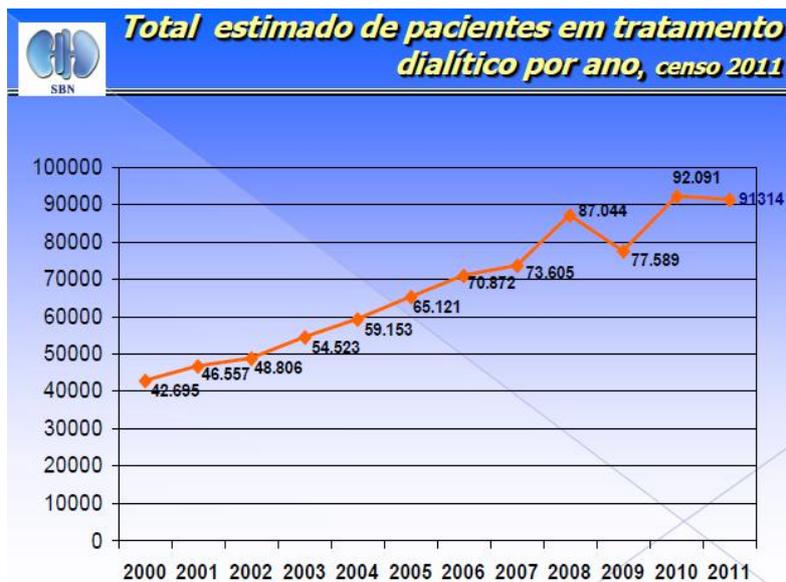


Figura 3.2: Total estimado de pacientes em tratamento dialítico por ano, censo SBN 2011.¹⁰

I.2.3 – Porcentagem de pacientes em diálise conforme a fonte pagadora

Devido ao baixo percentual de respostas das unidades renais cadastradas ao formulário do censo, mencionado no item anterior, os dados do censo foram contabilizados levando em consideração o total de pacientes nas unidades que responderam, 50.128.¹⁰

Portanto, dos 50.128 pacientes, conforme mostrado na figura 3.3, 84,9% (42.540) tiveram o tratamento de diálise pago pelo SUS (Sistema Único de Saúde) enquanto apenas 15,1% restantes (7.588) pago por convênios.

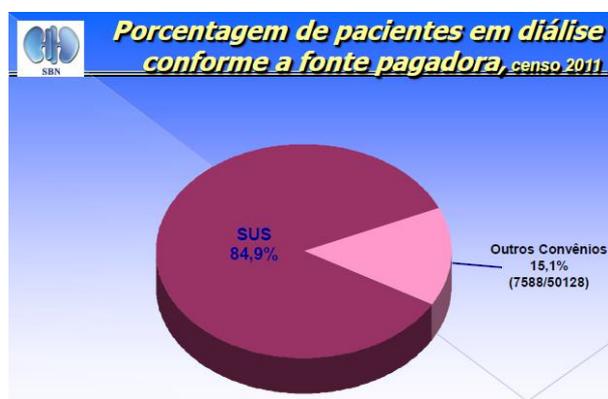


Figura 3.3: Porcentagem de pacientes em diálise conforme a fonte pagadora, censo SBN 2011.¹⁰

I.2.4– Distribuição de pacientes em diálise conforme a faixa etária

A partir da figura 3.4, pode-se observar que, 94,1 % dos pacientes submetidos ao tratamento de diálise se encontram na faixa de 19 a 80 anos, sendo a maioria (66,9%) de 19 a 64 anos e 27,2% de 65 a 80 anos.

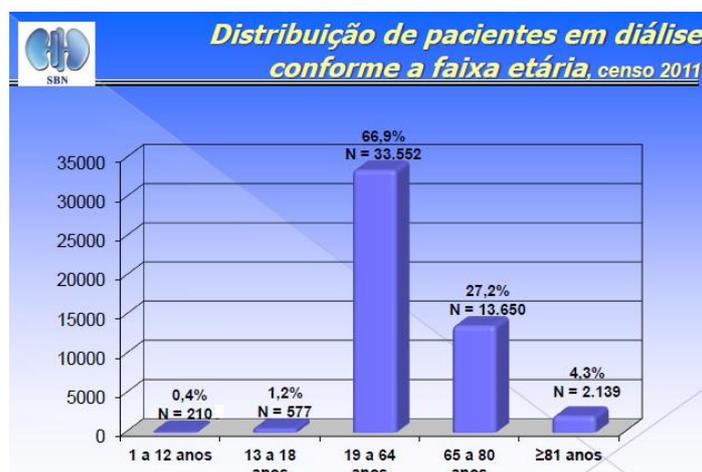


Figura 3.4: Distribuição de pacientes em diálise conforme a faixa etária, censo SBN 2011.¹⁰

I.2.5 – Diagnóstico de base dos pacientes em diálise

Conforme mencionado anteriormente, as duas principais causas da IRC são hipertensão arterial sistêmica (HAS) com 35,1% e diabetes *mellitus* (DM) com 28,4%, conforme mostrado na figura 3.5. As outras causas mais evidentes são: glomerulonefrite crônica (GNC) com 11,4% e rins policísticos com 3,8%.

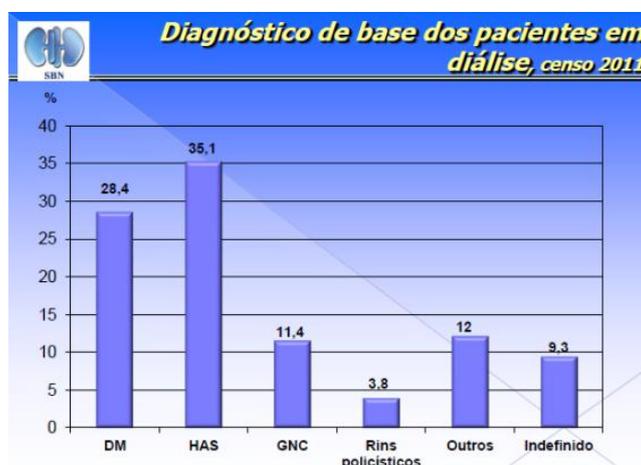


Figura 3.5: Diagnóstico de base dos pacientes em diálise, censo SBN 2011.¹⁰

I.3 – O tratamento de hemodiálise

A hemodiálise é responsável por filtrar o sangue, eliminando as substâncias tóxicas (como a ureia) e o líquido em excesso (água e sais minerais) através da denominada máquina de hemodiálise que funciona como um “rim artificial”.^{2,12}

O holandês Willem Johan Kolff (1911 – 2009) é considerado o “pai dos órgãos artificiais”. Inventou a máquina de hemodiálise (figura 4) em 1940, tratando o primeiro paciente em 1943. Dois anos depois, a décima sexta paciente, Sophia Schafstadt, foi a primeira que sobreviveu ao tratamento de hemodiálise. Ela se encontrava em coma e retomou a consciência, sobrevivendo, após o tratamento, por mais sete anos.^{13,14}



Figura 4: Cilindro rotativo de Kolff - Primeira máquina de hemodiálise (1943).¹³

No Brasil, o primeiro tratamento de hemodiálise que se tem notícia foi realizado em 1949, em São Paulo, pelo Dr. Tito Ribeiro de Almeida (1913-1998) que desenvolveu um “rim artificial” artesanal semelhante ao do Kolff.^{2,5}

Atualmente, o paciente é submetido ao tratamento através da máquina de hemodiálise (figura 5) durante cerca de 4 horas, 3 vezes por semana.²



Figura 5: Máquina de hemodiálise.²

Os processos utilizados em hemodiálise (figura 6) consistem em:

- 1) O sangue é removido do corpo através de uma fístula, criada a partir de um pequeno ato cirúrgico onde se une uma artéria a uma veia. A criação se justifica pois as veias superficiais são frágeis, possuem baixa pressão e baixo fluxo do sangue, já as artérias são resistentes, possuem alta pressão e alto fluxo do sangue, mas são profundas. Esta união permite um elevado fluxo sanguíneo e várias punções através de 2 agulhas grossas. O sangue é levado para a máquina de hemodiálise por meio de um tubo conectado a uma das agulhas, com o auxílio de uma bomba.^{15,16}
- 2) Na máquina, o sangue é filtrado pelo dialisador (o mais usado atualmente é o filtro capilar constituído de fibras capilares ocas). A filtragem se dá pela entrada do sangue no interior das fibras capilares enquanto o banho de diálise ou dialisato, passando pela parte externa das fibras, entra em sentido contrário, a fim de aumentar a troca das substâncias indesejáveis pelos íons contidos no banho, listados na tabela 1, conforme mostrado na figura 7.^{8,15,16,17}
- 3) O dialisato repleto de toxinas é removido da máquina enquanto o sangue “purificado” é devolvido ao paciente através de outro tubo, conectado a segunda agulha, com o auxílio de uma bomba.^{15,16}

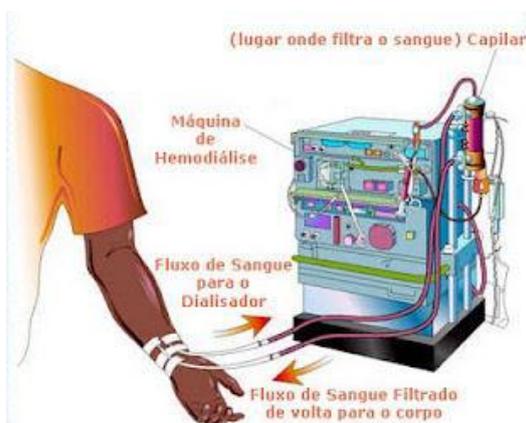


Figura 6: Processos da hemodiálise.¹⁸

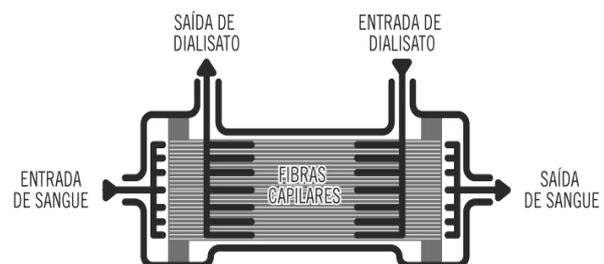


Figura 7: Funcionamento do dialisador.¹⁹

I.4 – O tratamento da água utilizada na hemodiálise

Na hemodiálise, soluções concentradas de sais são diluídas em água, formando assim o dialisato, cuja composição é listada a seguir na tabela 1.

Soluto	Concentração
Sódio	137 – 143 meq/L
Potássio	0 – 4,0 meq/L
Cloreto	100 – 111 meq/L
Cálcio	0 – 3,5 meq/L
Magnésio	0,75 – 1,5 meq/L
Acetato	2,0 – 4,5 meq/L
Bicarbonato	30 – 35 meq/L
Glicose	0 – 0,25 g/L

Tabela 1: Composição do dialisato utilizado na hemodiálise.⁶

Cada paciente é exposto a aproximadamente 120 litros de água por sessão de hemodiálise ⁶, o equivalente a cerca de 17.280 litros de água por ano já que cada um deles é submetido a 10 – 12 sessões mensais. Entretanto, em algumas ocasiões, este volume pode variar na faixa de 18.000 – 36.000 litros de água por ano. Portanto, como a água também é usada no reuso de dialisadores (o dialisador é enxaguado com água tratada para a retirada do sangue, sofre limpeza química e desinfecção) é vital o monitoramento da sua qualidade química a fim de evitar consequências danosas à saúde do paciente.²⁰

A partir da década de 80, devido ao crescimento de pessoas submetidas ao tratamento de hemodiálise, foi possível reunir fatos relacionando os elementos químicos presentes na água utilizada no tratamento a efeitos adversos provocados nos pacientes.^{2,21}

Nos dias de hoje, a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.²² Entretanto, desde os anos 80, é sabido que este tipo de água não é adequada para o tratamento de hemodiálise pois não apresenta um grau de pureza que leva em consideração o fato da água entrar em contato direto com o sangue do paciente, causando efeitos adversos.⁵

A primeira política de saúde implementada ao paciente de IRC foi a Portaria nº 38, de 3 de março de 1994, Ministério da Saúde, a qual estabelecia as normas do Sistema Integrado de Atenção ao Renal Crônico e mencionava que “a água para hemodiálise deveria ser obrigatoriamente tratada por deionização e/ou osmose reversa, imediatamente antes da utilização”.²³ Porém, não constavam maiores informações como os limites máximos permitidos para cada componente presente na água e havia pouco controle sobre as clínicas que prestavam serviços de diálise, o que contribuiu para a ocorrência de uma tragédia no Instituto de Doenças Renais (IDR) de Caruaru, Pernambuco, em 1996, onde mais de 50 pessoas morreram devido a contaminação da água utilizada no tratamento de hemodiálise por toxinas provenientes de cianobactérias.^{24,25} Este fato serviu de alerta para a importância da qualidade da água empregada no tratamento e para que fossem feitas modificações na norma implementada ao paciente de IRC.

A Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 (republicada em 31 de maio de 2006) - ANVISA, é a que, atualmente, estabelece o Regulamento Técnico para o Funcionamento dos Serviços de Diálise contendo os padrões mínimos de qualidade que a água utilizada no tratamento de hemodiálise deve obedecer.²⁶

A Clínica Nefrológica (CNL), localizada no estado Rio de Janeiro, oferece serviços de diálise há cerca de 25 anos e, atualmente, atende 302 pacientes. Possui três unidades (duas no município de São Gonçalo e uma no de Niterói) e realiza análises mensais da água utilizada no tratamento de hemodiálise através de um laboratório terceirizado. As amostras analisadas neste trabalho foram coletadas na unidade de Alcântara (São Gonçalo), onde o sistema de purificação da água utilizada no tratamento de hemodiálise da unidade, consta das etapas descritas a seguir:

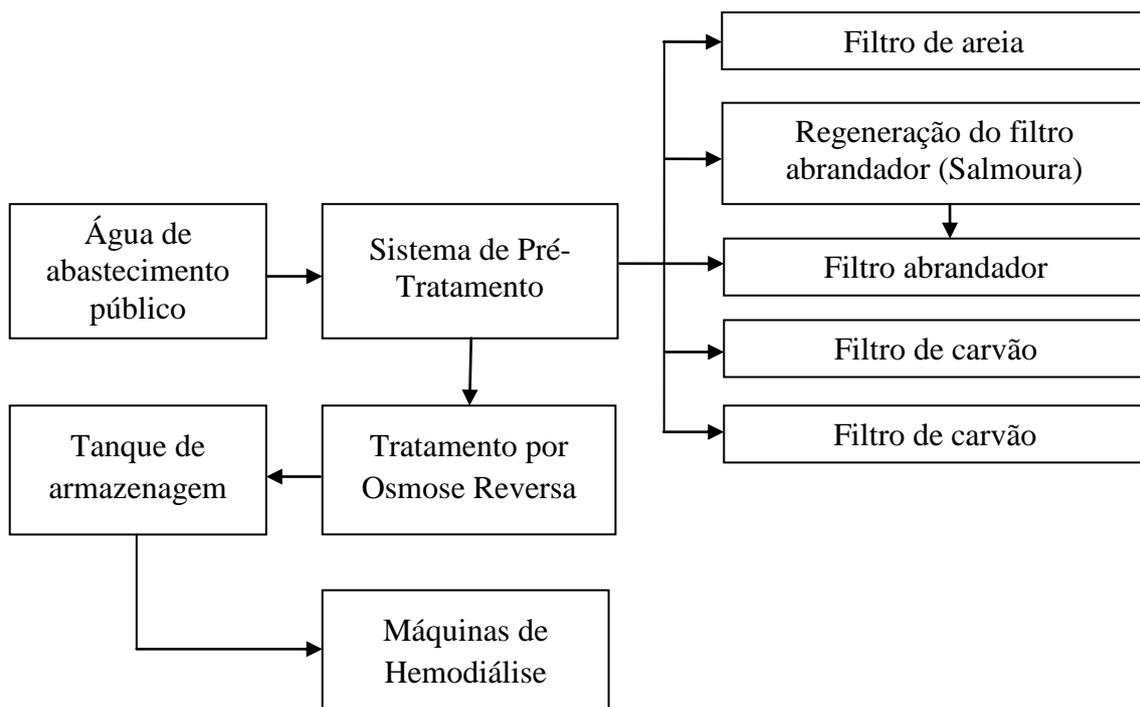


Figura 8: Fluxograma do sistema de purificação da água utilizada no tratamento de hemodiálise na CNL – Alcântara, São Gonçalo.

I.4.1 - Pré-tratamento

O pré-tratamento da água de abastecimento público consiste na proteção das membranas do tratamento por osmose reserva ^{2,27} e é constituído dos seguintes equipamentos:

I.4.1.1 - Filtro de areia



O filtro de areia tem como principal finalidade remover macropartículas em suspensão e materiais de maiores dimensões.²⁸

A filtração é obtida através da passagem da água por uma coluna de areia com camadas de diferentes granulometrias, dispostas no sentido decrescente de porosidade.²⁸

Figura 9: Filtro de areia (CNL – 18/05/2012)

I.4.1.2 - Filtro abrandador



O filtro abrandador é utilizado com o objetivo de remover cátions tais como ferro, manganês e, principalmente, cálcio e magnésio, a fim de eliminar a dureza da água. Os íons são substituídos pelo sódio por meio do fluxo de água que passa por resinas catiônicas.^{5,21}

A remoção de cálcio e magnésio é justificada pela possível fixação destes íons nas tubulações e nas membranas do tratamento por osmose reversa, reduzindo assim a eficácia do equipamento.^{5,29}

Quando a resina se encontra saturada, ela é regenerada através da solução de salmoura, $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$.²⁹

Figura 10: Filtro abrandador (CNL – 18/05/2012)

I.4.1.3 - Filtros de carvão



Os filtros de carvão são porosos e tem o propósito de adsorver componentes orgânicos, cloramina e cloro livre (age como oxidante).²⁷

É aconselhado o uso de 2 filtros de carvão, um seguido do outro, caso, após a passagem da água pelo primeiro filtro, o valor de cloramina esteja acima do máximo permitido.²¹

Figura 11: Filtros de carvão (CNL – 18/05/2012)

I.4.2 - Tratamento por Osmose Reversa

Atualmente, o tratamento por osmose reversa é o mais utilizado por proporcionar à água oriunda de abastecimento público, um grau de pureza extremamente elevado, retendo de 95 a 99% dos contaminantes químicos.^{2,21}

“É um processo oposto à osmose, em que a água contendo íons ou moléculas orgânicas, eventualmente contaminantes, é pressurizada contra uma membrana semipermeável, obtendo-se água pura no outro lado da membrana, contanto que a pressão exercida seja superior à pressão osmótica”²⁷, conforme ilustrado na figura 12.

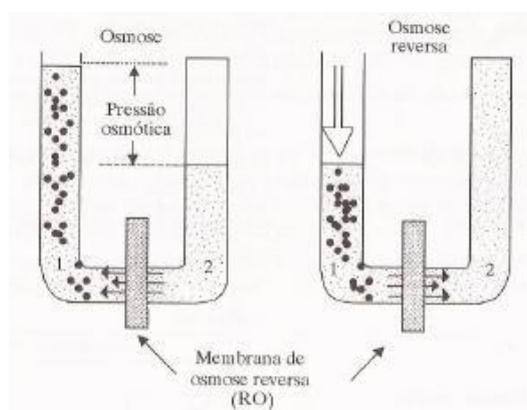


Figura 12: Funcionamento da osmose e osmose reversa.²⁷

Para evitar o depósito de solutos na membrana que impede a passagem de água, as membranas se encontram sob a forma de espiral e funcionam através de um fluxo tangencial, conforme mostrado na figura 13. A água de alimentação é pressurizada sob a membrana onde parte dela atravessa a membrana, chamado de permeado e o restante, repleto de contaminantes, chamado de rejeitado, é removido.²⁷

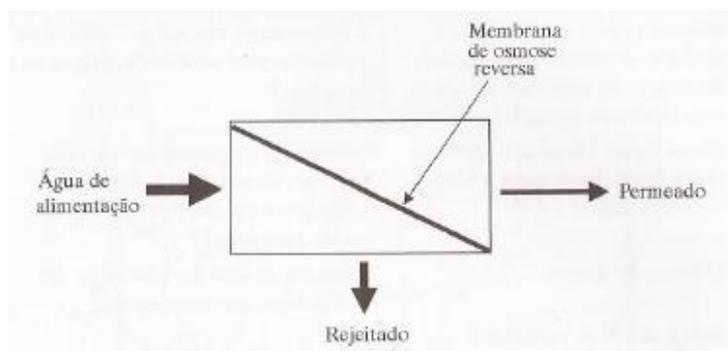


Figura 13: Fluxo tangencial em um tratamento por osmose reversa.²⁷

As figuras 14 e 15 mostram as etapas do tratamento por osmose reversa:



Figura 14: Pré-membrana do tratamento por osmose reversa



Figura 15: Tratamento por osmose reversa

(CNL – 18/05/2012)

I.4.3 – Tanque de armazenagem



A água tratada utilizada no serviço de hemodiálise na CNL é armazenada em um reservatório de policloreto de vinila (PVC) que possui as características listadas no item “Qualidade da água 8.6” da RDC nº 154/2004 – ANVISA e sofre limpeza quinzenalmente onde toda a água é removida.

A água tratada fica em constante circulação durante todo o procedimento hemodialítico e reuso de dialisadores.

Figura 16: Tanque de armazenagem (CNL – 18/05/2012)

I.5 – A Resolução RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 - ANVISA

Desde a década de 80 que se reúnem fatos, sendo possível relacionar os elementos químicos à efeitos adversos provocados nos pacientes submetidos ao tratamento de hemodiálise.^{2,21} Porém, somente em 1996, foi assinada, no Brasil, a Portaria GM/MS nº 2.042, de 11 de outubro de 1996, que estabelecia o Regulamento Técnico para o Funcionamento dos Serviços de Terapia Renal Substitutiva – Hemodiálise. Atualmente, está em vigor a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 (republicada em 31 de maio de 2006) - ANVISA que estabelece o Regulamento Técnico para o Funcionamento dos Serviços de Diálise.²⁶

Foram destacados alguns itens relevantes para este trabalho da RDC nº 154/2004

- ANVISA:

Art. 2º	<p>Nenhum serviço de diálise pode funcionar sem estar licenciado pela autoridade sanitária competente do Estado ou Município.</p> <p>§1º O serviço de diálise deve ter no máximo 200 pacientes em hemodiálise – HD, respeitando o limite do número máximo de um paciente por equipamento instalado por turno.</p>
Art. 5º	<p>Cem por cento (100%) dos serviços de diálise devem ser inspecionados e avaliados no mínimo duas vezes por ano.</p>
Definição 1.10	<p>Programa de Tratamento Dialítico: forma de atendimento de pacientes renais crônicos que necessitam de diálise de modo continuado.</p>
Definição 1.13	<p>Reuso em diálise: utilização de um mesmo dialisador em nova sessão de hemodiálise, para o mesmo paciente, após seu reprocessamento.</p>
Definição 1.15	<p>Serviço de diálise: serviço destinado a oferecer modalidades de diálise para tratamento de pacientes com insuficiência renal crônica.</p>
Indicação de diálise e monitoramento da evolução das condições clínicas do paciente 3.7	<p>O serviço de diálise deve realizar periodicamente, em seus pacientes, exames mensais para medição de potássio e cálcio e anuais para medição de alumínio.</p>
Qualidade da água 8.1	<p>As diversas etapas do sistema de tratamento, armazenagem e distribuição da água para hemodiálise devem ser realizadas em sistemas especificados e dimensionados, de acordo com o volume do sistema de tratamento, armazenagem e distribuição da água para hemodiálise e características da água que abastece o serviço de diálise.</p>

Qualidade da água 8.1.1	A água utilizada na preparação da solução para diálise nos serviços deve ter a sua qualidade garantida em todas as etapas do seu tratamento, armazenagem e distribuição.
Qualidade da água 8.3	A água potável de abastecimento dos serviços de diálise, independentemente de sua origem ou tratamento prévio, deve ser inspecionada diariamente pelo técnico responsável pela operação do sistema de tratamento de água do serviço, conforme as características físicas e organolépticas da água potável listadas, em amostras de 500ml, coletadas na entrada do reservatório de água potável e na entrada do pré-tratamento do sistema de tratamento de água do serviço.
Qualidade da água 8.5	A água tratada para uso no serviço de diálise utilizada na preparação da solução para diálise deve ser processada de modo que apresente um padrão em conformidade com o Quadro II, confirmado por análises de controle.
Qualidade da água 8.5.2	A análise da água deve ser realizada por laboratório habilitado na Rede Brasileira de Laboratórios (REBLAS/ANVISA).
Qualidade da água 8.6	<p>Os reservatórios de água tratada para diálise, quando imprescindíveis, devem ter as seguintes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) ser constituídos de material opaco, liso, resistente, impermeável, inerte e isento de amianto, de forma a não possibilitar a contaminação química e microbiológica da água, e a facilitar os procedimentos de limpeza e desinfecção; b) possuir sistema de fechamento hermético que impeça contaminações provenientes do exterior; c) permitir o acesso para inspeção e limpeza; d) possuir sistema automático de controle da entrada da água e filtro de nível bacteriológico no sistema de suspiro;

Qualidade da água 8.6	e) ser dotados de sistema de recirculação contínua de água 24 horas por dia, 07 dias por semana e a uma velocidade que garanta regime turbulento de vazão no retorno do loop de distribuição ao tanque; fechado, fundo cônico; f) possuir, em sua parte inferior, canalização de drenagem que possibilite o esgotamento total da água.
Qualidade da água 8.10	Quadro III – A limpeza e desinfecção do reservatório e da rede de distribuição de água tratada para diálise devem ser feitas mensalmente.
Qualidade da água 8.13	Os serviços de tratamento e distribuição de água da rede pública devem disponibilizar às Secretarias de Saúde os laudos dos exames de controle de qualidade da água potável e informar sobre qualquer alteração no método de tratamento ou sobre acidentes que possam modificar o padrão da água potável.
Infra-estrutura Física 9.8	A sala de tratamento e reservatório de água tratada para diálise deve constituir-se num ambiente exclusivo para esta atividade, sendo vedada sua utilização para qualquer outro fim.

Tabela 2: Itens da RDC nº 154/2004 - ANVISA.

A seguir, o Quadro II da RDC nº 154/2004 - ANVISA mostra os elementos (em negrito) que foram selecionados neste trabalho para análise, pelo fato de possuírem conhecidos efeitos adversos no tratamento de hemodiálise.

<u>Componentes</u>	<u>Valor Máximo Permitido</u>	<u>Frequência de análise</u>
Coliforme total	Ausência em 100 mL	Mensal
Contagem de bactérias heterotróficas	200 UFC/mL	Mensal
Endotoxinas	2 EU/mL	Mensal

<u>Componentes</u>	<u>Valor Máximo Permitido (mg/L)</u>	<u>Frequência de análise</u>
Nitrato (NO ₃)	2	Semestral
Alumínio	0,01	Semestral
Cloramina	0,1	Semestral
Cloro	0,5	Semestral
Cobre	0,1	Semestral
Fluoreto	0,2	Semestral
Sódio	70	Semestral
Cálcio	2	Semestral
Magnésio	4	Semestral
Potássio	8	Semestral
Bário	0,1	Semestral
Zinco	0,1	Semestral
Sulfato	100	Semestral
Arsênico	0,005	Semestral
Chumbo	0,005	Semestral
Prata	0,005	Semestral
Cádmio	0,001	Semestral
Cromo	0,014	Semestral
Selênio	0,09	Semestral
Mercúrio	0,0002	Semestral
Berílio	0,0004	Semestral
Tálio	0,002	Semestral
Antimônio	0,006	Semestral

Tabela 3: Quadro II da RDC nº 154/2004 - ANVISA - Padrão de qualidade da água tratada utilizada na preparação de solução para diálise.

I.6 – As principais características e efeitos dos elementos químicos selecionados em pacientes submetidos ao tratamento de hemodiálise

A seguir são apresentadas as características dos elementos químicos selecionados capazes de provocar efeitos adversos nos pacientes submetidos ao tratamento de hemodiálise. Os valores máximos permitidos de cada elemento químico, mostrados na Tabela 3, são estabelecidos por serem os menores níveis nos quais já foi comprovada toxicidade do elemento químico.

I.6.1 – Alumínio

O uso de sais de alumínio como agente clarificante, além da fluoretação e cloração, é um procedimento realizado para melhorar a qualidade da água para consumo, porém, este elemento, um dos metais mais abundantes na natureza, é prejudicial à saúde dos pacientes renais crônicos.²¹

Em 1972, Alfrey descreveu a síndrome encefalopatia da diálise (DES), que é uma desordem neurológica progressiva, caracterizada por convulsões, distúrbios na fala, demência, mioclonia e alteração da consciência, podendo evoluir para óbito.^{2,30} Em 1973, Kerr et col. sugeriu que grandes concentrações de alumínio presentes na água seriam responsáveis pelo aparecimento da DES.²¹

O alumínio se acumula nos ossos, devido a este fato, evidências posteriores associaram a DES a uma alta taxa de complicações ósseas e também piora da anemia já existente no paciente renal crônico.^{21,31}

A remoção eficaz de alumínio em água só pode ser realizada por osmose reversa e não através da deionização, já que a forma deste elemento na água depende do pH, o qual pode sofrer variações. Em pH alcalino, o alumínio se encontra na forma aniônica, já em pH 6-7, se encontra na forma não carregada ou coloidal, não sendo possível, assim, ser removido.³¹

I.6.2 – Cobre

Oriundo da contaminação das águas por rejeitos industriais, corrosão de tubulações ou até mesmo torneiras feitas de cobre, tratamentos agrícolas (usado como antifúngico, evitando a formação de fungos) ou tratamento para algas, o cobre pode causar, segundo relatos em pacientes submetidos ao tratamento de hemodiálise, náusea, vômito, dor de cabeça, anemia, danos ao fígado e hemólise aguda.^{2,8,21,31}

I.6.3 – Sódio

O sódio é encontrado em vários alimentos e é o principal componente do sal de cozinha (NaCl). Este elemento participa de funções básicas no corpo, tais como manutenção do equilíbrio de fluidos, regulação da pressão arterial, contração muscular e impulsos nervosos.³²

Em determinados lugares, o sódio presente na água pode ser oriundo do pré-tratamento da água, mais especificamente dos filtros abrandadores, utilizados para remover principalmente cálcio e magnésio (eliminando a dureza da água), através de resinas catiônicas que trocam estes elementos pelo sódio.^{2,5,21}

Quantidade elevada de sódio na água pode levar a um desequilíbrio na concentração deste elemento no sangue, chamado de hipernatremia, assim como hipertensão, convulsão, vômito, taquicardia e dificuldades para respirar.^{2,21}

I.6.4 – Cálcio

O cálcio é o mineral mais encontrado no corpo, principalmente nos ossos e dentes e, em baixas concentrações, é encontrado também no sangue e tecidos moles.³³

A Síndrome da Água Dura, caracterizada por excesso de cálcio e magnésio, foi uma das primeiras doenças associadas à qualidade da água, causando aos pacientes submetidos ao tratamento de hemodiálise os seguintes sintomas: náusea, vômito, dor de cabeça, letargia (“perda temporária da sensibilidade e do movimento, por uma causa

biológica ainda inexplicada”³⁴), fraqueza muscular intensa, hiperemia das conjuntivas (olhos avermelhados), convulsões e hipertensão arterial.^{2,5,21}

A remoção deste elemento se dá através dos filtros abrandadores, conforme descrito anteriormente, onde através de resinas catiônicas, o íon cálcio é substituído pelo íon sódio.

I.6.5 – Potássio

O potássio é um mineral importante para o funcionamento dos músculos e nervos. Ao contrário dos rins saudáveis, o rim doente não é capaz de manter o nível adequado de potássio no sangue, pois não consegue excretar a quantidade excessiva deste mineral, podendo ocasionar problemas cardíacos caso esse nível esteja muito alto.^{35,36}

Nos pacientes com IRC, a única forma de eliminar o excesso deste elemento, existente nos alimentos e bebidas, na corrente sanguínea é pelo tratamento de hemodiálise, fazendo com que seja elevado o risco de hipercalemia (excesso de potássio no sangue).³⁷

I.6.6 – Zinco

O zinco é um elemento químico fundamental tanto para a alimentação dos seres humanos, como dos animais e plantas. Porém, existem evidências de reações tóxicas agudas em pacientes com IRC, devido à excesso deste elemento na água utilizada no tratamento de hemodiálise, tais como náusea, vômito, febre, anemia, hemólise e encefalopatia.^{2,38,39}

Uma das causas determinantes para a eventual contaminação do zinco pode ser o armazenamento da água em tanque de zinco-galvanizado, caso este procedimento seja utilizado.³⁸

I.6.7 - Magnésio

O magnésio é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre. No corpo, a maior parte deste mineral se encontra nos ossos e é essencial em processos tais como produção de adenosina trifosfato (ATP) e contração muscular.^{40,41}

Esse elemento confere dureza à água e causa bloqueio da transmissão neuromuscular, quando se encontra em quantidades elevadas na água utilizada no tratamento de hemodiálise.³⁰

Os efeitos adversos da Síndrome da Água Dura foram listados no item I.6.4 e a remoção deste elemento se dá através dos filtros abrandadores, também já descritos anteriormente, onde através de resinas catiônicas o íon magnésio é substituído pelo íon sódio.

II - OBJETIVOS

Os objetivos principais deste projeto de pesquisa consistiram em:

- Determinar os elementos químicos: alumínio, cobre, sódio, cálcio, potássio, zinco e magnésio, em água utilizada no tratamento de hemodiálise, por possuírem efeitos adversos reconhecidos nos pacientes submetidos a este tipo de tratamento, através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente e Fotometria de Chama, a fim de comprovar a qualidade da água utilizada no tratamento hemodialítico da Clínica Nefrológica (CNL), localizada em Alcântara, no município de São Gonçalo, Rio de Janeiro, a qual deve estar de acordo com os padrões mínimos estabelecidos na Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 (republicada em 31 de maio de 2006) - ANVISA, mostrados na tabela 3.

III – MATERIAIS E MÉTODOS

III.1 – Materiais

Foram utilizados frascos de plástico, 60 mL cada, para coletar as amostras de água em diferentes etapas do sistema de purificação empregado na CNL– Alcântara, São Gonçalo, as quais serão descritas no item III.3.

III.2 – Equipamentos

Os equipamentos utilizados nas análises das amostras de água coletadas na CNL – Alcântara, São Gonçalo, foram:

- 1) Espectrômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300* (Cambridge, Inglaterra), instalado no LaDA – IQ/UFRJ (Laboratório de Desenvolvimento Analítico do Instituto de Química da UFRJ).
- 2) Espectrômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), marca Horiba Jobin Yvon, mod. *Ultima 2*, instalado no CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) - UFRJ.
- 3) Fotômetro de chama, marca Micronal, mod. *B262*, instalado no LaDA – IQ/UFRJ (Laboratório de Desenvolvimento Analítico do Instituto de Química da UFRJ)..
- 4) Sistema Milli-Q[®], marca Merck Millipore, mod. *Direct 8* (Billerica, Massachusetts, EUA), instalado no LaDA – IQ/UFRJ (Laboratório de Desenvolvimento Analítico do Instituto de Química da UFRJ).

III.3 – Procedimento experimental

III.3.1 - Amostragem

As amostras de água foram coletadas em quatro etapas do sistema de purificação empregado na CNL– Alcântara, São Gonçalo, nas saídas descritas a seguir:

Amostra 1 - primeiro ponto de coleta: água de abastecimento público.



Figura 17: Água de abastecimento público.

Amostra 2 - segundo ponto de coleta: água antes do pré-tratamento.



Figura 18: Água antes do pré-tratamento.

Amostra 3 - terceiro ponto de coleta: água após o pré-tratamento e antes do tratamento por osmose reversa.



Figura 19: Água após o pré-tratamento.

Amostra 4 - quarto ponto de coleta: água após o tratamento por osmose reversa e antes de ser armazenada no tanque.



Figura 20: Água após o tratamento por osmose reversa.

Neste trabalho foi feita apenas uma amostragem de cada ponto de coleta e, conseqüentemente, uma análise de cada ponto, já que a frequência de análise recomendada pela RDC nº154/2004 para os elementos selecionados é semestral.

III.3.2 - ICP-OES

Foram utilizadas curvas analíticas (intensidade versus concentração) em comprimentos de onda diferentes para cada elemento químico de interesse, conforme tabela 4, a fim de correlacionar as concentrações do alumínio, cobre, cálcio, zinco e magnésio nas amostras de água.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	Equipamento ICP-OES
Alumínio	309,271	marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>
Alumínio	396,152	marca Horiba Jobin Yvon, mod. <i>Ultima 2</i>
Cobre	324,754	marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>
Cálcio	393,366	marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>
Zinco	213,856	marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>
Magnésio	279,553	marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>

Tabela 4: Comprimentos de onda utilizados para análises dos elementos no ICP-OES.

Para análises no equipamento ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*, as soluções padrão em diferentes concentrações foram preparadas a partir de uma solução padrão estoque de $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de cada elemento químico de interesse diluídas com água ultrapura obtida de um sistema Milli-Q®, a qual foi utilizada como branco.

III.3.3 – Fotômetro de chama

Novamente foram utilizadas curvas analíticas (emissão versus concentração) a fim de correlacionar as concentrações do potássio e do sódio nas amostras de água.

As soluções padrão em diferentes concentrações foram preparadas a partir de uma solução padrão estoque de $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de potássio e uma de $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de sódio diluídas com água ultrapura obtida de um sistema Milli-Q®, a qual foi utilizada como branco.

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1 - ICP-OES

IV.1.1 – Curvas analíticas

As curvas analíticas (intensidade versus concentração) obtidas para o alumínio, cobre, cálcio, zinco e magnésio através do equipamento ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300* (Cambridge, Inglaterra), em determinados comprimentos de onda, são mostradas a seguir:

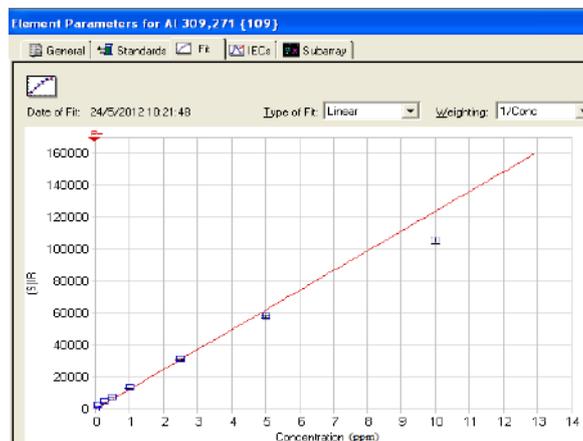


Figura 21: Curva analítica do alumínio - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*.

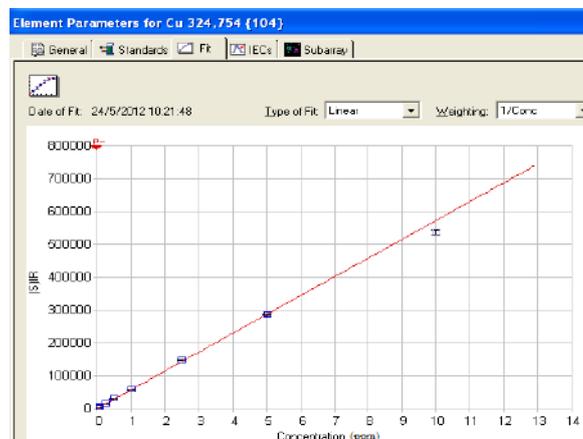


Figura 22: Curva analítica do cobre - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*.

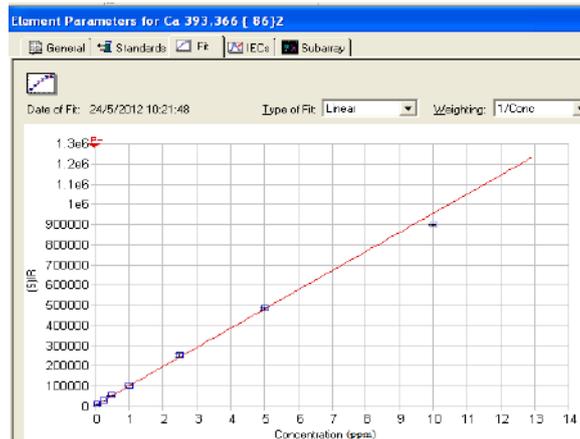


Figura 23: Curva analítica do cálcio - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*.

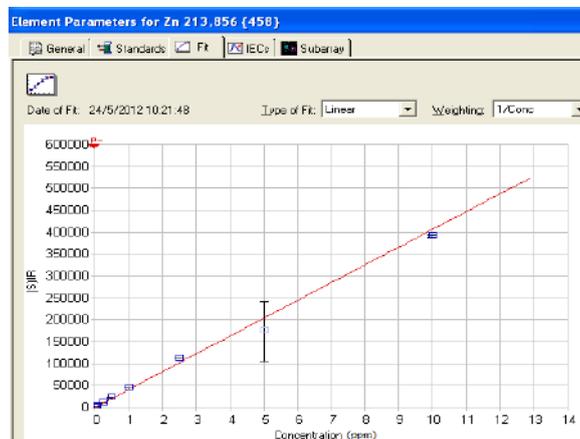


Figura 24: Curva analítica do zinco - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*.

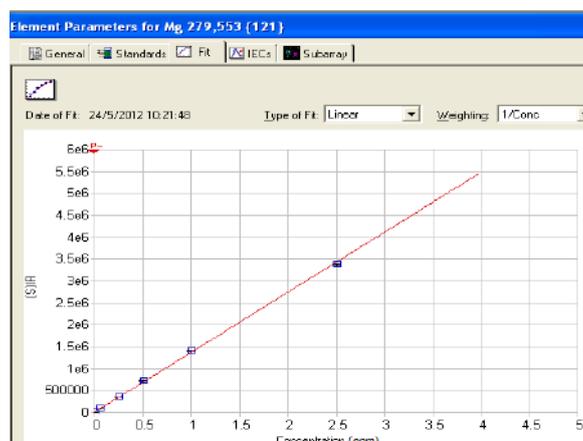


Figura 25: Curva analítica do magnésio - ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*.

A curva analítica (intensidade versus concentração) obtidas para o alumínio através do ICP-OES, marca Horiba Jobin Yvon, mod. *Ultima 2*, em determinado comprimento de onda, é mostrada a seguir:

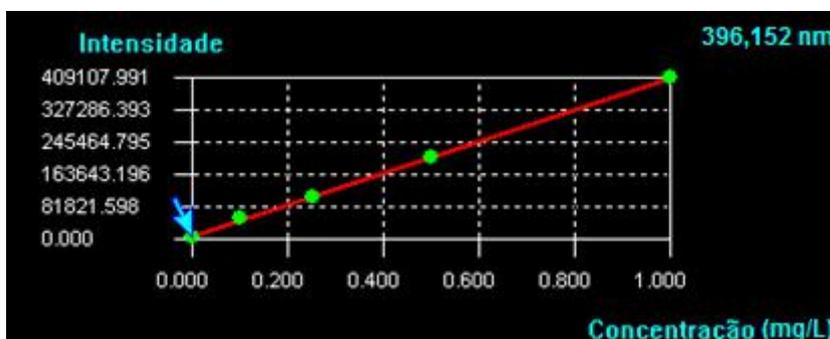


Figura 26: Curva analítica do alumínio - ICP-OES, marca Horiba Jobin Yvon, mod. *Ultima 2*.

IV.1.2 – Resultados

Através das curvas analíticas ilustradas anteriormente, para ambos modelos do equipamento ICP-OES, foi possível correlacionar as concentrações dos elementos químicos de interesse que são listadas a seguir:

ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. <i>iCAP 6300</i>					
Amostra	Al (mg·L⁻¹)	Cu (mg·L⁻¹)	Ca (mg·L⁻¹)	Zn (mg·L⁻¹)	Mg (mg·L⁻¹)
Amostra 1 (abastecimento público)	0,11	< 0,01	3,0	0,01	0,52
Amostra 2 (antes do pré-tratamento)	0,13	< 0,01	3,0	< 0,01	0,52
Amostra 3 (após o pré-tratamento)	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Amostra 4 (após osmose reversa)	< 0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ICP-OES, marca Horiba Jobin Yvon, mod. <i>Ultima 2</i>					
Amostra	Al (mg·L⁻¹)				
Amostra 4 (após osmose reversa)	< 0,02				

Tabela 5: Concentrações nas amostras de água coletadas na CNL.

Considerando os valores máximos permitidos pela RDC nº 154/2004 - ANVISA, mostrados na tabela 3, observa-se que:

1) O alumínio presente nas amostras 1 e 2, ou seja, antes de passar pelo pré-tratamento, se encontrava em teores acima do permitido ($0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na resolução. Através dos resultados do equipamento ICP-OES, marca Thermo Scientific, mod. *iCAP 6300*, nas amostras 3 e 4, após o pré-tratamento e após o tratamento por osmose reserva, respectivamente, é possível afirmar que este elemento está abaixo de $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ mas não que está abaixo de $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Portanto, fez-se necessária uma nova análise da amostra 4 para confirmação do valor encontrado, e, através do resultado do equipamento ICP-OES, marca Horiba Jobin Yvon, mod. *Ultima 2*, na amostra 4, foi confirmado que o alumínio está abaixo de $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Porém, ambos os modelos possuem o limite de detecção do equipamento para o elemento de $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, valor este que não é suficiente para garantir que a água utilizada no tratamento de hemodiálise está dentro do padrão de qualidade exigido.

A utilização de um nebulizador ultra-sônico, a fim de obter melhores limites de detecção, seria uma opção para que fosse possível afirmar o valor de alumínio permitido pela resolução ($0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

2) O cobre presente nas quatro amostras possui a mesma concentração, inferior a $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, valor que se enquadra abaixo do teor máximo permitido ($0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na resolução para a água utilizada no tratamento de hemodiálise.

3) O cálcio presente nas amostras 1 e 2, ou seja, antes de passar pelo pré-tratamento, se encontra em teores acima do permitido ($2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Nas amostras 3 e 4, após o pré-tratamento e após o tratamento por osmose reserva, respectivamente, pode-se confirmar que este elemento está abaixo de $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o suficiente para garantir o enquadramento no padrão de qualidade exigido para a água utilizada no tratamento de hemodiálise e, para comprovar a eficiência do filtro abrandador, onde através de resinas catiônicas, o íon cálcio é substituído pelo íon sódio.

- 4) O zinco presente na amostra 1, proveniente da água de abastecimento público, possui o teor de $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Já nas amostras 2, 3 e 4 possui a mesma concentração em ambas, abaixo de $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Porém, os valores em todas as amostras se enquadram abaixo do máximo permitido ($0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para a água utilizada no tratamento de hemodiálise.
- 5) O magnésio presente nas amostras 1 e 2, ou seja, antes de passar pelo pré-tratamento, possui o teor de $0,52 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Nas amostras 3 e 4, após o pré-tratamento e após o tratamento por osmose reserva, respectivamente, pode-se confirmar que este elemento está abaixo de $0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, comprovando, assim, a eficiência do filtro abrandador, onde através de resinas catiônicas, o íon magnésio é substituído pelo íon sódio. Porém, os valores em todas as amostras se enquadraram abaixo do máximo permitido ($4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) para a água utilizada no tratamento de hemodiálise.

IV.2 – Fotômetro de chama

IV.2.1 – Curvas analíticas

As curvas analíticas (emissão versus concentração) obtidas para o potássio e sódio através do Fotômetro de chama, marca Micronal, mod. B262 são mostradas a seguir:

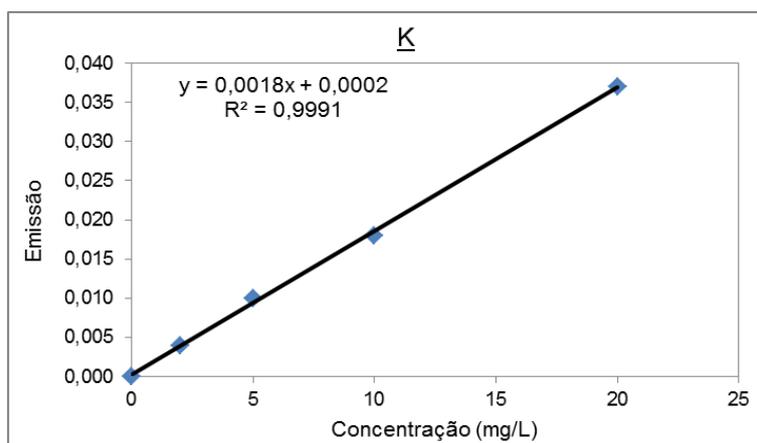


Figura 27: Curva analítica do potássio.

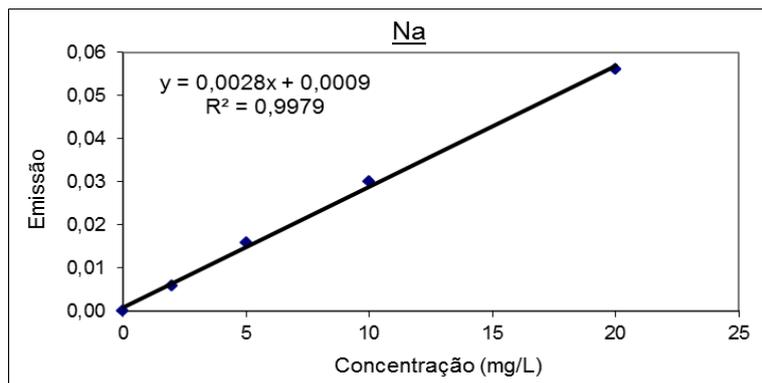


Figura 28: Curva analítica do sódio.

IV.2.2 – Resultados

Através das curvas analíticas ilustradas anteriormente, foi possível correlacionar as concentrações do potássio e do sódio que são listadas a seguir:

Amostra	Intensidade de Emissão	K (mg·L ⁻¹)
Amostra 1 (abastecimento público)	0,002	1,00
Amostra 2 (antes do pré-tratamento)	0,003	1,56
Amostra 3 (após o pré-tratamento)	0,000	0,00
Amostra 4 (após osmose reversa)	0,000	0,00

Tabela 6: Concentrações do potássio presente nas amostras de água coletadas na CNL.

O potássio presente nas 4 amostras se enquadra abaixo do máximo permitido pela RDC nº 154/2004 - ANVISA (8 mg·L⁻¹) para a água utilizada no tratamento de hemodiálise. Porém, pode-se observar um pequeno aumento de concentração na amostra 2 em relação a amostra 1, o que pode ser oriundo do caminho percorrido pela água de abastecimento público até chegar ao pré-tratamento. Foi possível, também, comprovar a eficiência do sistema de pré-tratamento já que a amostra 3 apresentou uma concentração nula de potássio.

Amostra	Emissão	Na (mg·L⁻¹)
Amostra 1 (abastecimento público)	0,008	2,54
Amostra 2 (antes do pré-tratamento)	0,010	3,25
Amostra 3 (após o pré-tratamento)	0,034	11,82
Amostra 4 (após osmose reversa)	0,001	0,04

Tabela 7: Concentrações do sódio presente nas amostras de água coletadas na CNL.

O sódio presente nas 4 amostras se enquadra abaixo do máximo permitido pela RDC nº 154/2004 - ANVISA (70 mg·L⁻¹) para a água utilizada no tratamento de hemodiálise. Porém, pode-se observar um pequeno aumento de concentração na amostra 2 em relação a amostra 1, o que pode ser oriundo do caminho percorrido pela água de abastecimento público até chegar ao pré-tratamento e um aumento considerável na amostra 3 em relação a amostra 2, que pode ser explicado devido as resinas catiônicas do filtro abrandador, onde os cátions são substituídos pelo sódio. Foi possível, também, comprovar a eficiência do tratamento por osmose reserva já que a amostra 4 apresentou uma concentração muito baixa do elemento.

V - CONCLUSÃO

Diante dos dados apresentados, foi possível tomar conhecimento dos riscos que o paciente submetido ao tratamento de hemodiálise está exposto durante as sessões, devido aos possíveis efeitos adversos provocados pelos elementos químicos presentes na água utilizada no tratamento, ficando evidente a importância da qualidade desta água conforme a RDC nº 154/2004 - ANVISA.

Ao analisar os resultados obtidos nas amostras de água recolhidas na CNL, pode-se concluir que o sistema de purificação da água empregado na clínica é eficiente, já que os teores dos elementos químicos obtidos na última amostra coletada foram abaixo dos valores máximos permitidos pela RDC nº 154/2004 - ANVISA (com exceção do alumínio que não foi possível afirmar o valor devido à baixa sensibilidade dos equipamentos), assegurando, assim, a saúde dos seus pacientes.

VI - REFERÊNCIAS

- 1 - Sociedade Brasileira de Nefrologia, Doenças Comuns. Disponível em <http://www.sbn.org.br/leigos/index.php?insuficienciaRenal&menu=24>, acessado em 22 de abril de 2012 às 23:14h.
- 2 - COIMBRA, I.K.S. [et al]. Dossiê Técnico: Qualidade da Água de Hemodiálise. TECPAR - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2007. Págs. 2 - 7.
- 3 - Retrato da Insuficiência Renal no Brasil, Boa Saúde, 05 de outubro de 2000. Disponível em <http://boasaude.uol.com.br/lib/ShowDoc.cfm?LibDocID=3858&ReturnCatID=1741>, acessado em 14 de abril de 2012 às 19:39h.
- 4 - CRAIG, F.; How Your Kidneys Work. How stuff works. Disponível em <http://science.howstuffworks.com/environmental/life/human-biology/kidney.htm>, acessado em 12 de junho de 2012 às 09:05h.
- 5 - 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. Rio de Janeiro, INCQS/ FIOCRUZ, 2009. Págs. 1, 2, 5, 6 e 12.
- 6 - Kasper, D. [et al]. Harrison's Principles of Internal Medicine. 16th edition, Mc Graw-Hill, 2005, volume 2. Págs. 1663 – 1665.
- 7 - NIDDK (National Kidney and Urologic Diseases Information Clearinghouse). Doença Renal Terminal: Escolhendo a Terapia Certa Para Você. Disponível em <http://gamba.epm.br/pub/irc/irc.htm>, acessado em 10 de maio de 2012 às 20:45h.
- 8 - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Copper in drink water, 2000. Págs. 81-83
- 9 - Associação de Pacientes Transplantados da Unifesp – Insuficiência Renal. Disponível em <http://www.unifesp.br/assoc/atx/dossie.htm#8>, acessado em 10 de maio de 2012 às 20:40h.

- 10 - Sociedade Brasileira de Nefrologia, Censo. Disponível em <http://www.sbn.org.br/leigos/index.php?censo>, acessado em 14 de abril de 2012 às 18:14h.
- 11 - FONSECA, T.M.P. A doença renal crônica no Rio de Janeiro, UFRJ, Faculdade de Medicina, 2007. Págs 56-64.
- 12 - ANDREOLI, M. C. C.; Nadaletto, M. A. Serviço de Diálise Peritoneal do Hospital do Rim e Hipertensão. Fundação Oswaldo Ramos – UNIFESP/EPM. Pág. 2.
- 13 - TUOTO, E. A. “Willem Kolff (Biografia).” In: Biografias Médicas by Dr Elvio A Tuoto (Internet). Brasil, 2006. Disponível em http://medbiography.blogspot.com.br/2006/10/willem-kolff-inventor-da-m_116025952212742813.html, acessado em 13 de maio de 2012 às 12:19h.
- 14 – ERNANI, L. “O Inventor da Hemodiálise”. 11 de Outubro de 2010. Disponível em <http://www.naninho.blog.br/saude/hemodialise/inventor-da-hemodialise.html>, acessado em 13 de maio de 2012 às 12:28h.
- 15 - CAMPOS, S. Nefrologia/Rim/Rins - Hemodiálise. 28 de Junho de 2003. Disponível em <http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/2647>, acessado em 13 de maio de 2012 às 22:15h.
- 16 - PINHEIRO, P. [Hemodiálise - Como funciona, cateter e fístulas](#). MD.Saúde, 14 de julho de 2009. Disponível em <http://www.mdsaude.com/2008/11/hemodilise-parte-i-entenda-como.html#ixzz1uo0OTTIs>, acessado em 14 de maio de 2012 às 10:14h.
- 17 - Nefrocor - Informações Sobre Diálise E Hemodiálise. Disponível em <http://www.nefrocor.com.br / conteudo - informacoes-sobre-dialise-e-hemodialise.php>, acessado em 25 de maio de 2012 às 12:22h.
- 18 - MACEDO, R.C. Água para Hemodiálise. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- 19 - Grupo CINE (Centro Integrado de Nefrologia) - HDC (Home Dialysis Center) – RenalClass. Hemodiálise. Disponível em <http://www.hcdialise.com.br/images/dialisador.png>, acessado em 25 de maio de 2012 às 12:40h.
- 20 - BUZZO, M.L. [et al]. A importância de programas de monitoramento da qualidade da água para diálise na segurança dos pacientes. Revista do Instituto Adolfo Lutz. São Paulo, 2010. 69(1). Pág. 2.
- 21 - MISAEL A.M.S. [et al]. Revisão/Atualização em diálise: água para hemodiálise. Jornal Brasileiro de Nefrologia; 1996. 18(2): Págs. 180-188.
- 22 - Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, Ministério da Saúde. Disponível em http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html, acessado em 17 de abril de 2012 às 21:30h.
- 23 - Portaria nº 38, de 3 de março de 1994. Disponível em sna.saude.gov.br/legisla/legisla/ter_r_s/SAS_P38_94ter_r_s.doc, acessado em 27 de junho de 2012 às 10:57h.
- 24 - CHERCHIGLIA, M. L. [et al]. Gênese de uma política pública de ações de alto custo e complexidade: as Terapias Renais Substitutivas no Brasil. Grupo de Pesquisa em Economia da Saúde – Universidade Federal de Minas Gerais. Págs. 7, 13, 14.
- 25 - COELHO, S.N.; Água de Caruaru. Universidade Federal de Pernambuco, 1998.
- 26 - Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 154, de 15 de junho de 2004 (republicada em 31 de maio de 2006) – ANVISA. Disponível em http://www.saude.mg.gov.br/atos_normativos/legislacao_sanitaria/estabelecimentos-de-saude/hemodialise/res_154.pdf, acessado em 18 de março de 2012 às 16:40h.
- 27 - CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D.S.; Análise Instrumental. Interciências - Rio de Janeiro, 2000. Págs. 557 – 560, 567 – 568.

- 28 - Revista e Portal Meio Filtrante – Água filtrada na hemodiálise. Ano VII – Edição nº 32, maio/junho de 2008. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=382>, acessado em 21 de maio de 2012 às 09:49h.
- 29 - Union Equipamentos – Linha Industrial. Abrandador de água industrial. Disponível em <http://www.union.ind.br/linha-industrial/97/51/Abrandador-de-%C3%81gua-Industrial.html>, acessado em 27 de maio de 2012 às 22:38h.
- 30 - RUSSO L.S. [et al]. Aluminium intoxication in undialysed adults with chronic renal failure. Journal Neurology Neurosurgery and Psychiatry, 1992 August. 55(8): Págs. 697-700.
- 31 - HOENICH N.A.; LEVIN R. The implications of water quality in hemodialysis. School of Clinical Medical Sciences, Renal Research Institute, NY, 2003. 16: Pág. 493.
- 32 - Hemodialysis Nutrition, Nephrology Physicians. Disponível em <http://www.nephinc.com/hemodialysis-nutrition.asp>, acessado em 30 de abril de 2012 às 19:09h.
- 33 - Saiba tudo sobre o cálcio e os benefícios para sua saúde, AS (Alimentação Saudável), 10 de março de 2010. Disponível em <http://www.alimentacao-saudavel.com/saiba-tudo-sobre-o-calcio-e-os-beneficios-para-sua-saude/>, acessado em 30 de abril de 2012 às 23:35h.
- 34 - PEREIRA, I. A. Faculdades em Estudo - Catalepsia e Letargia. Disponível em <http://www.espirito.org.br/portal/artigos/diversos/mediunidade/catalepsia-e-letargia.html>, acessado em 30 de abril de 2012 às 23:55h.
- 35 - THE KIDNEY FOUNDATION OF CANADA. Potassium and chronic kidney disease (CKD), Março 2010. Pág. 1. Disponível em <http://www.kidney.ca/document.doc?id=945>, acessado em 05 de abril de 2012 às 08:17h.

36 – SWARTZENDRUBER, D. Potassium Problems in the Dialysis Patient. Dialysis Patient Citizens, Abril 2006. Págs. 1-2. Disponível em http://www.dialysispatients.org/images/pdf/potassiumarticle060717_000.pdf, acessado em 05 de abril de 2012 às 08:20h.

37 - PINHEIRO, P. Dieta para pacientes em hemodiálise. MD.Saúde, 23 de março de 2012. Disponível em <http://www.mdsaude.com/2010/03/dieta-insuficiencia-renal-hemodialise.html>, acessado em 08 de abril de 2012 às 23:40h.

38 - Zinc Biochemistry, Capítulo 8. Disponível em http://george-eby-research.com/html/hand_8.html, acessado em 04 de abril de 2012 às 15:15h.

39 - WARD, R. Dialysis Fluid Quality: An Important Part of The Dialysis Prescription. A Webber Training Teleclass, 11 de março de 2004. Pág. 2. Disponível em www.webbertraining.com, acessado em 07 de abril de 2012 às 18:25h.

40 - Magnésio. Disponível em <http://www.corpoperfeito.com.br/ce/magnesio>, acessado em 01 de maio de 2012 às 10:10h.

41 - Magnésio. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A9sio>, acessado em 01 de maio de 2012 às 10:15h.