



## **Sistema de Hemodiálise: variáveis importantes para o funcionamento e segurança do paciente.**

**Murilo Santos Ruas<sup>1</sup>, Hugo Antônio Nunes Silva<sup>2</sup>, Claudio Reynaldo Barbosa Souza<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Industrial Elétrica – IFBA. e-mail: muriloruas@ifba.edu.br

<sup>2</sup> Mestre em Pedagogia Profissional pelo ISPETP. e-mail: hugos@ifba.edu.br

<sup>2</sup> Mestre em Pedagogia Profissional pelo ISPETP. e-mail: claudioreynaldo@ifba.edu.br

**Resumo:** O método mais utilizado pelos médicos para tratar os pacientes com insuficiência renal crônica é a hemodiálise. Um tratamento longo, invasivo e, a depender do paciente, pode ocorrer mais de duas vezes por semana. A máquina de hemodiálise filtra o sangue num meio extracorpóreo substituindo em parte o funcionamento renal. Há na máquina um circuito do sangue e um circuito do dialisato operando de forma simultânea e complementar. Dentro do circuito do dialisato flui um líquido específico que proporciona a troca de substâncias com o sangue, tal fenômeno só é possível devido a uma série de variáveis que operam dentro de parâmetros pré-definidos para esse resultado. Caso as variáveis funcionem fora do padrão, tem-se um risco iminente ao paciente que está sujeito à diálise, podendo ir, eventualmente, a óbito. Este artigo foi desenvolvido a partir de pesquisas bibliográficas e pesquisas de campo.

**Palavras-chave:** insuficiência renal crônica, hemodiálise, circuito do dialisato e variáveis.

### **1. INTRODUÇÃO**

Este artigo apresenta o resultado parcial da primeira etapa da pesquisa Modelagem de um Sistema de Teste para Equipamentos de Hemodiálise (circuito do dialisato) que está em vigência no Núcleo de Tecnologia em Saúde (NTS) do Instituto Federal da Bahia (IFBa).

A partir do complexo tratamento, inerente à vida do paciente que sofre com a insuficiência renal crônica, tem-se o levantamento de uma questão importante à qualidade de vida do mesmo: como aumentar a segurança do tratamento utilizando as variáveis do circuito do dialisato durante a hemodiálise?

Diante dessa questão, definiu-se como objetivo deste artigo apresentar o circuito do dialisato, destacando as suas variáveis, aplicações no sistema de diálise e as complicações clínicas para o paciente em tratamento caso ocorram algumas alterações nas mesmas.

Entender as variáveis é de fundamental importância para a construção de um modelo de testes à máquina de hemodiálise, pois é a partir desses parâmetros que iremos estabelecer a confiabilidade do estado da arte. Este Objetivo se justifica a sociedade pela necessidade de aparelhos para testar equipamentos de diálise, inerentes à vida de pessoas que sofrem de insuficiência renal crônica.

### **2. MÉTODOS**

A análise foi desenvolvida a partir dos resultados iniciais de uma pesquisa, realizada nas seguintes etapas:

1) pesquisa bibliográfica que visou o aprofundamento dos conhecimentos a respeito do sistema de hemodiálise, suas variáveis e as relações destas com a segurança dos pacientes;

2) pesquisa de campo onde foram realizadas visitas técnicas a clínica e hospitais que trabalham com sistemas de hemodiálise e que são consideradas referências na Cidade de Salvador / Bahia. Estas visitas técnicas objetivaram a verificação dinâmica dos equipamentos de hemodiálise e o comportamento de suas variáveis durante o processo. Na oportunidade foram mantidos contatos com contatos com médicos e enfermeiros da área, visando à constatação de quais as variáveis mais impactam na segurança dos pacientes, principalmente no circuito do dialisato.

Divido em tópicos, o artigo apresenta em uma parte dos resultados relatos sobre: 2.1. Consequências da Insuficiência Renal; 2.2. O Processo Terapêutico Substitutivo da Função Renal - Hemodiálise; 2.3. Máquina de Hemodiálise; e, 2.4. Circuito de Sangue. A construção deste arcabouço



teórico sobre o processo da hemodiálise, desenvolvido nos tópicos já citados, possibilitará uma abordagem contextualizada do circuito do dialisato, com base na pesquisa das variáveis já desenvolvidas no projeto, que será discutido no tópico 2.5. Circuito do Dialisato: Uma Abordagem Contextualizada das Variáveis.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 2.1. Conseqüências da Insuficiência Renal

A insuficiência renal ocorre quando os rins não conseguem mais operar parcialmente ou totalmente, ou seja, deixando de filtrar e eliminar os resíduos presentes no sangue à manutenção da homeostase. Observa-se também o não funcionamento do segmento endócrino desse órgão.

Essa doença é dividida em insuficiência renal aguda, quando os rins deixam subitamente de funcionar, podendo voltar ao normal depois de algum tempo – pode-se ocorrer devido a trauma na região – e insuficiência renal crônica (IRC), quando a função renal esta muito debilitada e a lesão nos rins é de caráter irreversível (GAMBRO BASICS, 1994).

Se o paciente for diagnosticado com insuficiência renal crônica - lesão de caráter irreversível - surge à necessidade de: encaminhá-lo para terapias com o intuito suprir a função excretora dos rins; regular a sua alimentação; e, administrar fármacos com o objetivo de substituir a função secretora desse órgão – controlando a renina, o EPO, a vitamina D. Existem dois tratamentos para a IRC: hemodiálise e diálise peritonal. O processo mais utilizado para tratar esses enfermos é a hemodiálise.

#### 2.2. O Processo Terapêutico Substitutivo da Função Renal - Hemodiálise

Terapia utilizada pelos médicos quando o enfermo esta com IRC, doença que atinge o funcionamento renal, serve para limpar o sangue de resíduos metabólicos indesejáveis - uréia, creatinina, entre outros -, e excesso de líquidos. Ocorre num meio extracorpóreo que circula o sangue através de artérias e veias sintéticas conectadas a um dialisador – local responsável pelas trocas sanguíneas com o dialisato a fim de substituir a função dos rins a partir de fenômenos físicos, dentre esses: difusão e ultrafiltração.

O fluido de diálise, também denominado de dialisato (líquido sintético que banha o dialisador, separados por membranas do circuito de sangue), é uma solução hidroiônica com: proteína, glicose, substância tampão – acetato ou bicarbonato – entre outras substancias misturadas estequiometricamente, que ao entrar em contato com a membrana que separa os circuitos de sangue e do dialisato da máquina proporciona as trocas de líquidos e substratos a partir dos processos de ultrafiltração e difusão, resultado da diferença de pressão que há dentro do dialisador (RIELLA, 2003).

O procedimento de hemodiálise é eficiente para o equilíbrio interno do corpo, se o funcionamento renal do paciente estiver precário, todavia, a um custo alto: estimasse que o procedimento acontecesse normalmente três vezes por semana, com sessões exaustivas, tipicamente de quatro horas, e considerada invasiva ao paciente, devido, principalmente, ao uso de agulhas que torna o tratamento desconfortável.

#### 2.3. Máquina de Hemodiálise

Partindo de uma visão didática, tem-se na máquina de diálise uma divisão: o circuito de sangue e o circuito do dialisato. O circuito de sangue compreende o trajeto que o fluido sanguíneo irá percorrer em um espaço extracorpóreo, conceito análogo para o circuito do dialisato, sendo o dialisato o fluido que circula. Ambos os circuitos possuem dispositivos eletrônicos de monitoração e controle.

O circuito do sangue é o trajeto que esse fluido irá percorrer no meio extracorpóreo: inicia com a agulha que é inserida no paciente; passa por uma bomba que definirá a pressão do sangue no circuito que é conectada aos capilares do dialisador; finalmente, o sangue passa por uma câmara cata-bolhas para retorna ao paciente.

O circuito do dialisato é o caminho que o dialisato percorrerá na máquina de diálise: começa com a preparação do dialisato; passa por uma bomba peristáltica que o impulsiona, com o objetivo de tornar mais eficiente as trocas de substâncias com o sangue; por fim, o dialisato é descartado.



O funcionamento adequado às condições operacionais da máquina de hemodiálise é imprescindível para que seja garantida ao paciente maior eficiência e segurança durante o tratamento.

As máquinas atuais para o tratamento da hemodiálise é equipada com sensores e alarmes para identificar eventuais anomalias da solução dialítica, detectando os problemas, assim, diminuindo os riscos de complicações no tratamento (BRASIL, 2002). O modelo que testa a máquina atual, que é uma rotina executada pela mesma, não é considerado, pelos técnicos, um meio confiável de certificar o seu bom funcionamento. Atestar este funcionamento é de fundamental importância para garantir o bem estar do paciente devido ao alto número de parâmetros que a máquina opera, dentre estes, tem-se a temperatura, pressão, vazão, molaridade, velocidades das bombas, ultrafiltração, pureza da água, entre outros.

#### 2.4. Circuito de Sangue

O caminho que o sangue irá percorrer é constituído por uma artéria (a forma que o sangue sai do paciente e chega à máquina), que tem como seu controlador de pressão uma bomba peristáltica que impulsiona o sangue até o dialisador. Durante o percurso, é aplicado ao sangue uma substância anticoagulante (heparina). Após sair do dialisador, o sangue passa por um deaerador – processo responsável pela retirada de bolhas de ar do sangue – e por fim volta para o paciente por um tubo venoso.

Há diversos sensores e alarmes presentes nesse processo com o objetivo de proteger o paciente de eventuais erros durante o tratamento, sendo esses: sensores de pressão, de bolhas de ar, velocidade da rotação da bomba, temperatura, entre outros. Caso algum alarme dispare o sangue de retorno ao paciente é bloqueado pelo clamp de pressão venosa (BRASIL, 2002).

#### 2.5. Circuito do Dialisato: Uma Abordagem Contextualizada das Variáveis

Para a realização da hemodiálise, tem que coexistir junto ao circuito de sangue, um sistema estruturado e pensado com um fluido complementar para que haja permutas de líquidos e substratos dentro do dialisador, modelando a função renal em um meio extracorpóreo. Diante do exposto, tem-se definido esse sistema que irá tornar possível esse tratamento renal: o circuito do dialisato. A abordagem será desenvolvida conectando os efeitos que as variáveis da máquina trazem aos pacientes durante o tratamento.

Devido à grande capacidade de dissolução, a água no seu grau mais absoluto de pureza foi o componente escolhido para compor o papel de solvente do líquido dialisato. Para purificar a água, usam-se: deionizadores, filtros mecânicos, abrandadores, filtro de carvão ativado e osmose reversa. Com isso, já se pode definir a primeira variável do circuito do dialisato: a pureza da água (CASTRO, 2001). Nos ambientes estudados em Salvador, percebe-se a importância que os mesmos dão a qualidade da água, onde foram observados centros de purificação d'água excelentes, com um sistema de reaproveitamento eficiente, tornando o processo mais viável e barato.

No circuito, se a água utilizada estiver com quantidades irregulares de íons, pode ocorrer ao paciente contaminação por alumínio, cobre, mercúrio, assim por diante, de acordo com os níveis de contaminantes que a mesma contém. Existe um padrão de qualidade desenvolvida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para o controle da água, caso a água usada não esteja dentro desse padrão, os contaminantes, como os citados por irregularidades de íons, podem gerar complicações médicas como: doença óssea, neurológica, febre, calafrios, dispnéia, precordialgia, anemia, entre outros agravamentos clínicos (T.DAUGIRDAS; S.ING, 1988).

Ao entrar na máquina de hemodiálise proporcional, a água já tratada é misturada a uma solução eletrolítica de modo estequiométrico (tal substância tem dissolvido glicose, proteínas, cálcio, fósforo, entre outros componentes importantes à diálise) e reservado em um recipiente separado da solução tampão que é necessário para a formação do dialisato. Essa separação é essencial para que não haja precipitação de sais de cálcio, caso o bicarbonato seja a substância tampão escolhida. A partir dos resultados adquiridos em campo, o cálcio foi considerado um grande vilão para as máquinas de



hemodiálise, pois, a sua precipitação nas bombas e válvulas forma crostas brancas nesses equipamentos dificultando a passagem do dialisato durante a hemodiálise, tornando o procedimento menos eficaz. Com isso, a manutenção preditiva de descalcificação é constante e caracterizada um problema para o bom funcionamento da máquina de hemodiálise.

Um sistema de proteção que a máquina oferece é a medição da mistura dialisato. Ao ser formado na câmara de proporção, testa-se a condutividade que o fluido apresenta, essa medição identifica a molaridade da substância a partir da sua condução de corrente elétrica. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), essa mensuração tem que ser feita pelo menos no começo de cada tratamento, e durante o ensaio de teste da máquina, o líquido para percorrer o dialisato

tem que operar com uma condutibilidade de  $14\text{mS/cm} \pm 1\text{mS/cm}$  e uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ .

Segundo o manual Fresenius, o ranger que a sua máquina opera é de  $12,8$  a  $15,7\text{mS/cm}$ , ranger considerado seguro ao paciente de acordo com a empresa. Com isso, uma variável fundamental ao circuito dialisato é a sua molaridade (GAMBRO BASICS, 1994; RIELLA, 2003).

Caso o condutímetro falhe, problema pouco comum com as máquinas atuais durante a diálise, ocorrerá o contato do sangue com um fluido nocivo à saúde do paciente, com alta ou baixa concentração de soluto. Sabe-se que o contato do sangue com soluções hiperosmolar possibilita ocasionar o excesso de sódio (hiperatremia) a outros distúrbios eletrolíticos, podendo provocar: cefaléia, náuseas, sede intensa, convulsões, entre outras complicações, eventualmente, ocasionando a morte do enfermo. Se o sangue entrar em contato com uma solução hiposmolar pode ocasionar diversos problemas ao paciente, dentre esses, a hemólise rápida ou hiponatremia (T.DAUGIRDAS; S.ING, 1988; CASTRO, 2001).

Para permitir as trocas de substância que ocorre no dialisador, precisa-se criar uma diferença de pressão entre os circuitos operantes na máquina, normalmente há no circuito do sangue uma pressão positiva definida pela bomba de sangue e uma pressão negativa no circuito do dialisato criada por outras bombas peristálticas. Com isso, tem-se a necessidade de controlar a pressão do dialisato na máquina e variá-la com o intuito de controlar a taxa de ultrafiltração, assim, conclui-se a pressão como variável importante no circuito do dialisato.

No início do tratamento a solução dialítica sai da câmara proporcional para o dialisante impulsionado por uma bomba de alimentação. Ao sair, a bomba aspirante impele um volume de líquido maior que o injetado pela bomba de alimentação. Essa diferença de volume, controlado pela velocidade de ação da bomba aspirante é responsável pela pressão negativa do circuito do dialisato, aferida por um manômetro antes da respectiva bomba. Logo, a variável velocidade da bomba aspirante será a controladora da pressão no circuito dialisato. De acordo com a ABNT, a diferença entre a média aritmética das pressões de entrada e saída de sangue e a pressão do compartimento de fluido de diálise de um dialisador representa a pressão transmembranar (PTM) que é a responsável pelo controle da ultrafiltração, caso a ultrafiltração esteja fora do esperado do procedimento, a máquina tem que ativar um alarme sonoro, tal verificação tem que ser feita pelo menos no começo de cada tratamento. Se o débito de ultrafiltração (UF – taxa de ultrafiltração /substituição) for maior que o normal, há riscos de hipotensão, câibras, perda excessiva de peso, entre outras complicações. Para verificar se o débito de ultrafiltração está de acordo com o desejado, existe no início e no fim do circuito do dialisato balanças para verificar se o volume de dialisato que entra no circuito está saindo. Para que não haja interferência do débito de UF, há um circuito em bypass que retira do volume do dialisante o débito programado para ser recebido. (GAMBRO BASICS, 1994; RIELLA, 2003).

Para o controle da temperatura do dialisato, a água que entra na máquina é pré-aquecida com o líquido que está saindo do processo e o novo dialisato é aquecido até uma temperatura próxima a do

corpo humano. A Fresenius utiliza a escala de indicação com um ranger de  $33,5^{\circ}\text{C}$  até  $41,0^{\circ}\text{C}$ , escala



de ajuste de  $35^{\circ}\text{C}$  a  $39^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ , para um controle eficiente dessa variável, de acordo com Soares, Ochiro e Sannomiya (2001) a temperatura do ideal do dialisato é entre  $37^{\circ}\text{C}$  a  $38^{\circ}\text{C}$  durante as terapias.

Para garantir mais segurança ao paciente, tem-se, localizado antes da entrada do dialisante, um medidor de temperatura para que o sangue do paciente não seja exposto a um fluido contendo uma alta diferença de temperatura. Expondo-o a um dialisato com uma temperatura menor que a do sangue, há uma troca de calor entre os fluidos correndo o risco de causar hipotermia no enfermo, se a temperatura estiver acima que a do sangue, corre o risco de desnaturação de proteínas, entre outras complicações causadas pela hipertermia.

Outra medida de segurança exigida pela ABNT é a garantia da integridade da membrana que separa os circuitos. Essa verificação ocorre com um detector de hemoglobina situado no circuito do dialisante, na saída do dialisador, há um sensor de fotometria que percebe a presença do sangue. Com isso, tem-se outra variável definida: presença de glóbulos vermelhos no circuito do dialisato. Caso detecte a presença de hemácias, o circuito de sangue é imediatamente isolado por um clamp arterial.

## 6. CONCLUSÕES

Diante do exposto no desenvolvimento, percebe-se a complexidade de operação do circuito do dialisato na máquina hemodilítica. Conhecer as variáveis desse circuito com exatidão (molaridade, velocidade das bombas, taxa de ultrafiltração, pureza da água, entre outras) e o que ela provoca no paciente é de extrema importância à pesquisa que tem por objetivo o desenvolvimento de uma modelagem de um sistema de teste para equipamentos de hemodiálise, ou seja, testar um equipamento inerente à vida de uma pessoa com IRC. Junto com esse conhecimento, é necessário conhecer as normas técnicas estabelecidas pela ABNT (NBR IEC 606001 e 60601-2-16) para definir as condições ideais à modelagem da máquina de teste para equipamentos de hemodiálise.

Cada parâmetro do circuito dialisato citado é avaliado pela máquina de forma discreta, pois o mínimo de variação é o suficiente para deixar o paciente mais debilitado. Como o visto da pressão, que influi diretamente na troca dos substratos dos líquidos por controlar as vazões, como também da pureza da água, que pode contaminar o paciente com metais entre outros íons. A temperatura também é uma variável fundamental à máquina, e, uma combinação das variáveis operando de forma desregular pode representar o motivo de uma das maiores complicações da hemodiálise, a hipotensão, como também outras doenças: câibras musculares, náuseas, cefaleia, entre outras. Estes são os problemas que mais afetam os pacientes em tratamento, e, conseguir resolve-los a partir de um controle exato das variáveis é uma forma de diminuir a exposição do enfermo aos medicamentos, modo tradicional de remediar os efeitos do mau funcionamento da máquina.

De acordo com uma pesquisa de campo desenvolvida na região de Salvador, com médicos e equipes de manutenção, com o intuito de captar o histórico de manutenção das máquinas em operação, foi possível perceber que as mesmas não são consideradas seguras o suficiente para garantir o bem estar dos pacientes no transcorrer do procedimento, devido à complexidade de encontrar defeitos de operação, de acordo com os técnicos de manutenção, o teste de rotina da máquina é falho, com isso, o objetivo desta pesquisa desenvolvida no NTS se faz necessária no contexto atual.

## REFERÊNCIAS

ARMENTANO, Ricardo et al. **Ingeniería Biomédica: perspectivas desde el Uruguay**. Montevideo: Universidad de La República Oriental, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamento eletromédico – Parte 1 – Prescrições gerais para segurança**. Norma NBR IEC 60601-1. Rio de Janeiro, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14.971: Produtos para a saúde – Aplicação de gerenciamento de risco em produtos para a saúde. Rio de Janeiro 2004.



BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 2, de 25 de janeiro de 2010. Dispõe sobre o gerenciamento de tecnologias em saúde em estabelecimentos de saúde. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 26 jan. 2010.

BERNARDO, André. **Guia dos rins saudáveis: é possível proteger este importante órgão e garantir mais saúde..** Disponível em: <<http://revistavivasaude.uol.com.br/saude-nutricao/83/artigo163352-1.asp>>. Acesso em: 17 set. 2011.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS. Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: capacitação a distância / Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Projeto REFORSUS. – Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002.

CASTRO, Manuel Carlos M de. Atualização em diálise: Complicações agudas em hemodiálise. **J Bras Nefrol**, São Paulo, n. , p.108-113, 2001.

IMPrensa. **Doença renal crônica: a epidemia do século XXI:** Problema, que muitas vezes tem origem ainda na infância, requer diagnóstico precoce para melhor eficiência do tratamento . Disponível em: <<http://www.sissaude.com.br/sis/inicial.php?case=2&idnot=7003>>. Acesso em: 17 set. 2011.

INOUE, Kelly Cristina et al. Correlação entre métodos de avaliação da qualidade da dose de diálise. **Acta Paul Enferm.:** Especial-Nefrologia, São Paulo, n. , p.495-496, 2009.

Manual de Tecnovigilância: abordagens de vigilância sanitária de produtos para a saúde comercializados no Brasil/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. – Brasília: Ministério da Saúde, 2010.629 p. : il. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos)

Manual de Treinamento da GAMBRO BASICS. **GAMBRO Renal Products**, 1994.

MARTINS, Marielza R. Ismael e CESARINO, Claudia Bernardi. Qualidade de vida de pessoas com doença renal crônica em tratamento hemodialítico. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*[online]. 2005, vol.13, n.5, pp. 670-676. ISSN 0104-1169. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-11692005000500010>.

MENDONÇA, Danielle D. P. **QUALIDADE DE VIDA DOS PORTADORES DE INSUFICIÊNCIA RENAL CRÔNICA EM TRATAMENTO DE HEMODIÁLISE.** 2007. 164 f. Tese (Mestrado) - Curso de Psicologia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.

**O que é a Insuficiência renal?** Disponível em: <[http://nefrovirtual.110mb.com/index.php?p=1\\_10\\_O-que-a-Insufici-ncia-renal-](http://nefrovirtual.110mb.com/index.php?p=1_10_O-que-a-Insufici-ncia-renal-)>. Acesso em: 19 set. 2011.

RIELLA, Miguel Carlos. **PRINCÍPIOS DE NEFROLOGIA E DISTÚRBIOS HIDROELETROLÍTICOS.** 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 1068 p.

**Rins.** Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/corpo-humano-sistema-urinario/rins-1.php>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

SALGADO FILHO, Natalino; BRITO, Diego José de Araújo. Doença Renal Crônica: A Grande Epidemia Deste Milênio. **J Bras Nefrol Volume Xxviii**, Maranhão, n. , p.1-5, 2006.



SOARES, Clélia Beltrame; OCHIRO, Emilia Yaeko; SANNOMIYA, Natalina Toyoko. RELAÇÃO DA TEMPERATURA DA SOLUÇÃO DE DIÁLISE E A HIPOTENSÃO ARTERIAL SINTOMÁTICA OBSERVADA DURANTE SESSÕES DE HEMODIÁLISE EM PACIENTES COM INSUFICIÊNCIA RENAL CRÔNICA. **Escola Enfermagem Usp**, São Paulo, n. , p.346-353, 2001.