

## **BALANÇO DE MASSA E DE ENERGIA DO SISTEMA DE ULTRAFILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA**

RONALD GERVASONI<sup>1\*</sup>; CRISTINA CARVALHO<sup>2</sup>; ALEXANDRE MORENO LISBOA<sup>3</sup>; KARINA KRIGUEL<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Mestre Engenheiro Pesquisador, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, SANEPAR, Curitiba-Pr, ronaldg@sanepar.com.br

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Química PUCPR, Curitiba-PR, cris.huf.carvalho@hotmail.com

<sup>3</sup> Técnico em Mecânica, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, SANEPAR, Curitiba-Pr, amlisboa@sanepar.com.br

<sup>4</sup> Técnica em Química Industrial, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, SANEPAR, Curitiba-Pr, karinak@sanepar.com.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** As novas tecnologias criadas para o tratamento de água auxiliam no crescimento da qualidade do saneamento e revelam-se cada vez mais eficazes, tanto na questão energética como na quantidade de água tratada. A avaliação desses novos modos de tratamento permite identificar falhas, o melhor meio de corrigi-las e verificar a eficiência do sistema. Um dos processos utilizados é a membrana de ultrafiltração, a qual tem função de reter partículas de dimensões pequenas. Com isso, avaliou-se uma estação piloto para tratamento de água com membrana de ultrafiltração, a partir do balanço de massa e energia com o intuito de maior conhecimento sobre as alternativas de tratamento e, futuramente, subsidiar esse processo. Observou-se que, apesar do gasto energético ter um pico durante a ultrafiltração, é nove vezes menor do que o gasto em estações piloto de tratamento convencional de água da Sanepar e o balanço de massa revelam que, apesar das paradas e perdas de água tratada para a limpeza da membrana, a quantidade de água tratada ainda é muito alta, possibilitando abastecimento de 57 casas, caso essas gastem 10 m<sup>3</sup> de água por mês, com 250 horas de operação. Sendo assim, a implantação de sistemas de membranas de ultrafiltração pode reduzir custos energéticos com maior volume de água tratada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ultrafiltração, balanço de massa, balanço de energia, eficiência.

### **MASS AND ENERGY BALANCE OF AN ULTRAFILTRATION FOR WATER TREATMENT**

**ABSTRACT:** New technologies developed for the water treatment help to increase the quality of sanitation and prove to be increasingly efficient, both in energy issues such as the amount of treated water. The evaluation of these new modes of treatment allows us to identify faults, the best way to correct them and check system efficiency. One method used is the ultrafiltration membrane, which function is to retain small particles. Thereby, a pilot plant was evaluated for water treatment with ultrafiltration membrane, from the mass and energy balance in order to better knowledge about treatment alternatives and future support this process. It was observed that, despite having a peak energy expenditure during the ultrafiltration, the process is nine times lower than that spent in pilot conventional treatment plants of water from SANEPAR and the mass balance shows that, despite stops and loss of treated water for cleaning the membrane, the amount of treated water is too high, enabling supply 57 homes, if those spend 10 cubic meters of water per month, with 250 hours of operation. Thus, the implementation of the ultrafiltration membrane system can reduce energy costs with the increased of the volume of treated water.

**KEYWORDS:** Ultrafiltration, mass balance, energy balance, efficiency.

## INTRODUÇÃO

O tratamento de água usualmente adotado no Brasil composto por adução, coagulação, decantação/flotação e filtração começa a perder o posto em face de novas tecnologias apresentadas no mercado brasileiro como a tecnologia de tratamento de água utilizando membranas filtrantes. Sistemas estes adotados largamente em países desenvolvidos, hoje se faz presente cada vez mais na concepção de novos projetos. A quantidade de agentes químicos, físicos e biológicos nos reservatórios também é crescente e os meios convencionais de tratamento não possuem eficiência desejada pra retirada desses, sendo assim a tecnologia por membranas começa a despontar como alternativa técnica e de maior eficiência energética (MIERZWA et al., 2008).

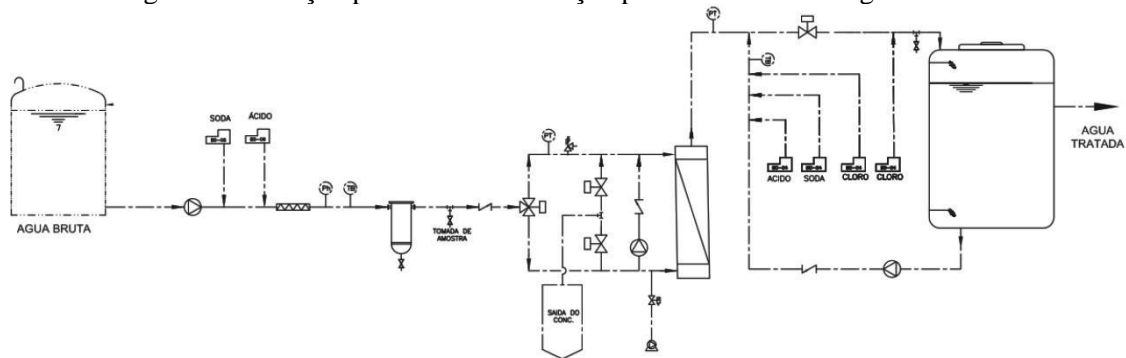
O estudo do balanço de massa e energia de sistemas com membranas de ultra ou nanofiltração, osmose reversa e outros, resultam na verificação de sua maior eficácia no que tange a qualidade da água produzida bem como a questão da eficiência no consumo de energia elétrica.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar, a partir do balanço de massa e energia, um sistema piloto de tratamento de água com membrana de ultrafiltração a fim de subsidiar novas alternativas para o processo de saneamento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de desenvolvimento do estudo se iniciou com a coleta dos dados das vazões mássicas e energéticas do sistema durante os quatro estágios que esse possui - a ultrafiltração, a limpeza hidráulica e as limpezas químicas A e B. Abaixo se apresenta o fluxograma do processo relacionado a este estudo (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da estação piloto de ultrafiltração para tratamento de água.



A primeira etapa do desenvolvimento foi o balanço de energia da estação piloto, cuja medição foi realizada com o auxílio de um analisador de energia da EMBRASUL modelo RE6000, no qual se avaliou a potência, tensão e corrente do sistema, sendo possível a obtenção de valores para a análise energética.

Para a segunda etapa, primeiramente, admitiu-se que para o balanço de massa não há reação química e ocorre em estado estacionário, ou seja, não há acúmulo durante o processo. Com isso a fórmula utilizada foi:

Foram realizados cálculos para as quatro etapas da estação piloto, variando-se entre os dois tempos possíveis na etapa de ultrafiltração. Utilizou-se o balanço global e os volumes de controle para auxiliar no cálculo de cada parte.

A limpeza química é realizada pela limpeza A e a limpeza B, as quais ocorrem após determinado número de ciclos, sendo possível programa-los variando de 100 a 300 ciclos para a primeira e 200 a 400 ciclos para a segunda. Optou-se pelo menor número de ciclos possível em cada limpeza, para que houvesse menor tempo de análise.

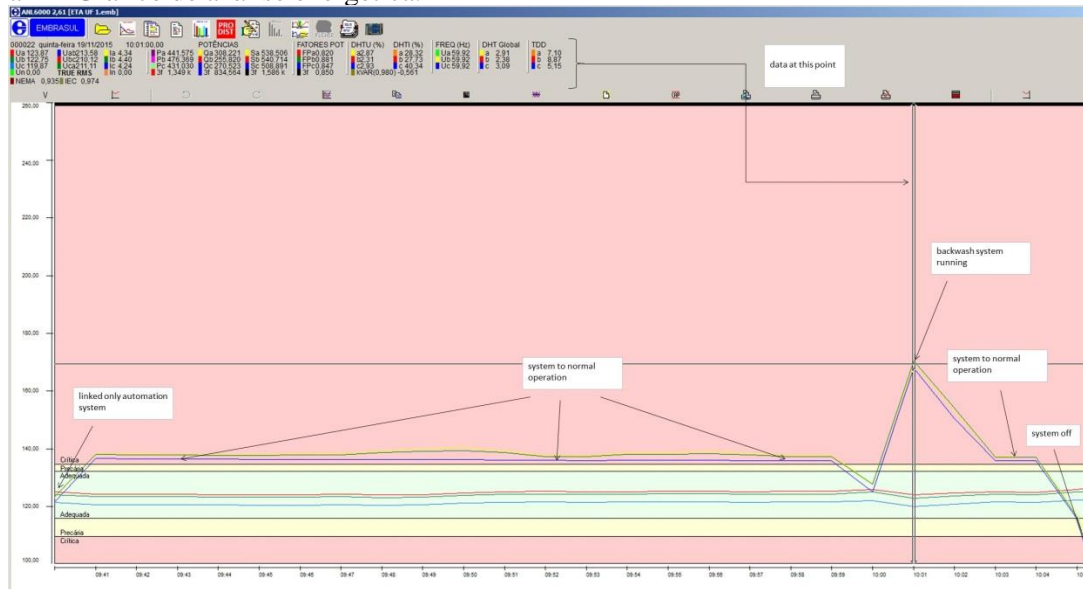
Os processos de limpeza – hidráulica e química - ocorrem na mesma sequência, diferindo a adição ou não de produtos químicos. A limpeza A utiliza hidróxido de sódio e cloro e a limpeza B utiliza ácido clorídrico. As etapas desse processo se encontram a seguir:

- I. Dosagem do químico, dosadora em 100% por 64 segundos;
- II. Limpeza hidráulica de 5 segundos, com descarte do excedente;
- III. Fecham-se as válvulas e inicia a limpeza química com a bomba de recirculação por 10 minutos;
- IV. Limpeza hidráulica de 50 segundos, com descarte do excedente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolveram-se as medições para o balanço energético por cerca de 30 minutos, sendo que o piloto já estava em funcionamento por 20 minutos, separando-se em três fases, chamadas de A, B e C, na qual foram medidas as tensões, correntes e potências. Essas medições podem ser observadas no gráfico abaixo (Figura 2). O espaço verde significa que a medição está em um limite adequado, o amarelo indica que é precário e a vermelha indica crítica.

Figura 2 – Gráfico de análise energética.



Pode-se constatar que há um ponto de inflexão mais agudo no momento em que a retrolavagem, ou limpeza hidráulica, é ativada, gerando um ponto de medição crítico. Com os dados foram obtidos os valores médios e construiu-se a tabela a seguir.

Tabela 1 – Valores médios do balanço de energia.

	Fase A	Fase B	Fase C	Total
Tensões (V)	124,76	123,86	121,08	-
Correntes (A)	2,31	2,29	2,17	-
Potências ativas (kW)	0,244	0,255	0,229	0,728
Potências reativas (kVAr)	0,154	0,123	0,128	0,405
Potências aparentes (KVA)	0,289	0,283	0,263	0,835
Fatores de potência	0,846	0,901	0,873	-

O valor da potência ativa média tornou viável o cálculo da quantidade de energia demandada pelo sistema. Utilizando o valor da vazão entrada de 2,72 m<sup>3</sup>/h obteve-se 0,31 KWA/m<sup>3</sup>, sendo 9 vezes menor que o valor requerido na estação piloto de tratamento convencional da SANEPAR.

Para o balanço de massa foram consideradas as quatro fases: ultrafiltração, limpeza hidráulica, limpeza A e limpeza B.

Na ultrafiltração separou-se o balanço global, o volume de controle 1 e o volume de controle 2, os quais podem ser identificados na figura 3. Com a dosagem de hipoclorito de sódio (solução de cloro a 1%) resultou nos valores encontrados na TABELA 2.

Tabela 2. Valores do balanço de massa da etapa de ultrafiltração.

Corrente	Componentes	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Corrente	Componentes	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
Qentrada	Alimentação bomba	2,72	Q1	Entrada membrana	2,7012
QT1/QT2	Turbidimetro de entrada	0,0144	Qc11	Dosadora de cloro (1%)	0,00054
Qs1/Qa1	Turbidimetro de saída		Qsaída	Água tratada teórica	2,70174
	Dosadora de soda	0,005			
	Dosadora de ácido				
QF	Filtro	0	Qsaída	Água tratada estimada prática	2,53

Utilizando o volume tratado por hora, adotando-se o tempo de 0,75h (45 minutos) e 1h (60 minutos), é possível inferir que é produzido teoricamente cerca de 2040 L e 2720 L, respectivamente, e com os valores obtidos na prática cerca de 2026,05L e 2701,4L, respectivamente, de água tratada na estação. Cada etapa da ultrafiltração é considerada um ciclo.

Na limpeza hidráulica, a qual ocorre ao fim de cada ciclo da ultrafiltração, utilizou-se um volume de controle para a bomba de retrolavagem, para conhecimento da vazão de entrada na membrana, e um volume de controle na membrana. Utilizou-se também o volume de controle global, o qual indica que a entrada é igual a saída. A dosagem de cloro nas limpezas foi de 100%.

Tabela 3. Valores do balanço de massa da etapa de limpeza hidráulica.

Corrente	Componentes	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
Qretro1	Bomba de retrolavagem	26,7
Qcirc	Bomba de recirculação	1,94
Qsaída circ	Saída total do concentrado	26,7

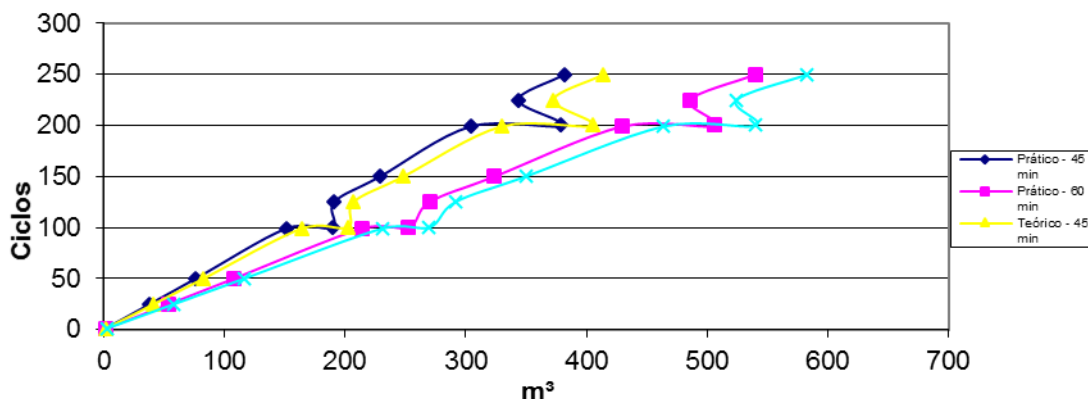
A limpeza hidráulica A e B ocorrem após 100 e 200 ciclos, respectivamente, da ultrafiltração. Elas possuem o mesmo princípio de funcionamento da limpeza hidráulica, porém há adição de químicos. Há adição de hidróxido de sódio a 10% e cloro a 10% na limpeza A e ácido clorídrico a 10% na limpeza B, além do funcionamento do turbidimetro nessa etapa. Na TABELA 4, apresenta os valores do balanço de massas das etapas de limpeza, os valores medidos de vazão de alimentação, recirculação e os componentes de atuação.

Tabela 4. Valores do balanço de massa das etapas de limpeza A e B.

Corrente	Componentes	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Corrente	Componentes	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
Qretro1	Bomba de retrolavagem	26,7	Qcirc	Bomba de recirculação	1,94
Qa2/Qs2/Qc12	Dosadora ácido (100%)	0,054	Q2	Entrada membrana	26,8368
	Dosadora soda (100%)				
	Dosadora cloro (100%)				
T1/T2	Turbidimetro de saída	0,0144	Qsaída circ 2	Quantidade concentrado retirado do processo	- 2,0514; - 2,0466.
	Turbidimetro de entrada		- Após 100 ciclos (A)		
			- Após 200 ciclos (B)		

Os valores obtidos geraram uma estimativa de produção de água e a quantidade utilizada nas limpezas, considerada descarte. Com isso, foi possível obter, tanto para os valores teóricos encontrados no balanço de massa, como para o prático, feito com medição da vazão no local, obtidos nos dois tempos existentes, a quantidade de água real tratada, sendo apresentado no GRÁFICO 1 seguinte.

Gráfico 1 – Volume em m<sup>3</sup> versus número de ciclos transcorridos.



Observando o gráfico acima, é possível inferir que a metodologia adotada para a determinação do balanço de massa tem alto grau de convergência com os dados mensurados na prática. Com base em tais dados provenientes do balanço de massa e energia, se pode estimar o índice de perdas neste sistema de tratamento de água e qual a demanda energética da planta, com isto de posse destes dados podemos gerar parâmetros para futuros projetos e subsidiar estudos de viabilidade técnica e econômica.

## CONCLUSÃO

O uso do modelo de balanço mássico e energético resultou em valores coerentes ao serem comparados com os valores reais obtidos através de medições. Também podemos concluir que sistemas pilotos são ótimas ferramentas para avaliações prévias prevendo o comportamento de futuras plantas de tratamento de água, determinação de seus potenciais e limitações operacionais.

Entendemos que modelos de trabalhos como este devem ser incentivados e divulgados para o fortalecimento técnico do setor do saneamento do Brasil e, sobretudo utilizados para a adaptação e capacitação quando a implantação de novas tecnologias.

Para se ter uma ideia do porte do sistema piloto referido neste estudo a produção média de água tratada foi de 572,18 m<sup>3</sup> com 250 horas de operação do piloto. Se considerar que uma casa é abastecida em média com 10m<sup>3</sup> por mês, esse volume produzido abasteceria cerca de 57 casas.

Para etapas futuras deste estudo, sugerimos relacionar os parâmetros mássicos e energéticos com dados de qualidade de alimentação de água e água produzida.

## AGRADECIMENTOS

À SANEPAR, por contar e apoiar a área de pesquisa e desenvolvimento vinculado à Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social. Ao Miguel Szabelzki Junior da Unidade de Desenvolvimento Operacional da Diretoria de Operação da SANEPAR pelo apoio e medição dos parâmetros energéticos.

## REFERÊNCIAS

- BASTOS, Rafael K.C.; VARGAS, Lídia C.; MOYSÉS, Sando S; SILVA, Helen C.A. Avaliação do desempenho de tratamento de água: desvendando o real. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre.
- BRAGA, Fernando P. Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do município de Juiz de Fora – MG. UFJF, 2014, 70f. Dissertação (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).
- CHEW, Chun M.; AROUA, Mohamed K.; HUSSAIN, Mohd A.; ISMAIL, Wan M.Z.W. Evaluation of ultrafiltration and conventional water treatment systems for sustainable development: an industrial scale case study. *Journal of Cleaner Production*, P.112 3152-3163, 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Acesso em: 20 de junho de 2016.
- MIERZWA, José C; SILVA, Maurício C. C da; RODRIGUES, Luana D. B.; HESPANHOL, Ivanildo. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos

diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.13, n.1, 2008.