

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO PARA REAPROVEITAMENTO DO EFLUENTE DOS DESTILADORES DE BANCADA

ROCHA, Raquel Estevez^{1*}; SANTOS, Fernanda Carvalho¹; ARAÚJO, Anajara Moraes Lima²; SANTOS, Alejandro Wolfferson dos²; LOPES, Francisco Luiz Gumes¹

¹ Coordenação de Química, Campus Aracaju, Instituto Federal de Sergipe

² Coordenação de Alimentos, Campus Aracaju, Instituto Federal de Sergipe

* email: raquelestevez2014@gmail.com

Resumo: O projeto objetivou desenvolver o protótipo de uma torre de resfriamento, em escala de bancada, de baixo custo e fácil montagem, operando em sistema aberto, para reduzir a temperatura do efluente dos destiladores de laboratórios, possibilitando o seu reaproveitamento, evitando desperdícios e minimizando efeitos da poluição térmica ambiental ocasionada pelo mesmo. A torre é composta de uma estrutura de madeira, planejada para comportar 5 calhas feitas de PVC, sendo 1 coletora e as demais estágios de queda d'água, preenchidas com "recheio" (vidro estilhaçado), ao qual a água é gotejada por um cano de PVC que serve de distribuidor de água. O resfriamento se dá por via de correntes de convecção, provocadas por dois suportes, constituídos cada um por oito coolers ligados à uma fonte de tensão. Testes iniciais apresentaram uma redução de temperatura de até 13,0 °C. Utilizando menores vazões de circulação do efluente da torre, verificou-se uma melhor eficiência da mesma, pois possibilita um maior tempo de residência efluente-recheio. Assim, o protótipo da torre de resfriamento construído é eficaz no arrefecimento do efluente de destiladores de bancada, sendo uma importante ferramenta no combate ao desperdício de água e à poluição térmica.

Palavras-chave: destilador de bancada, torre de resfriamento, poluição térmica ambiental, desperdício de água.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 50 anos, com o crescimento acelerado das populações e do desenvolvimento industrial e tecnológico, as poucas fontes disponíveis de água doce do planeta estão comprometidas ou correndo risco. Mundialmente, segundo hidrólogos e demógrafos, o consumo humano de água doce duplica a cada 25 anos (MACHADO, 2004).

Devido à crescente escassez da água e a preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água aquecida oriunda do processo industrial deve ser reaproveitada. Para isto ser possível, é necessário o seu resfriamento em equipamentos conhecidos como Torres de Resfriamento ou Arrefecimento de Água, de forma à retirada de calor para que a mesma possa ser reutilizada no processo. A água aquecida oriunda do processo industrial pode ser considerada como um efluente, uma vez que sua alta temperatura não permite o seu descarte em mananciais, devido à contribuição para a poluição térmica (STOECKER e JABARDO, 1994; MANCUSO e SANTOS, 2003; SANTOS, 1992).

De acordo com a resolução 430/2011 do CONAMA (2011), efluente é o termo utilizado para caracterizar os despejos líquidos de diversas atividades ou processos. Conforme Marisco (2014), o reuso destes, gerados por equipamentos como destiladores utilizados em laboratórios, está cada vez mais em evidência, pois acaba sendo encaminhado para o tratamento em conjunto com o esgoto doméstico.

Denomina-se torre de resfriamento de água o equipamento que promove a transferência de calor e massa de uma corrente de água para o ar atmosférico. No caso das torres do tipo evaporativo, este resfriamento de água ocorre através da evaporação de uma pequena parte da corrente de água para uma corrente de ar (LIMA JÚNIOR, 2011).

Os dados de operação de uma torre de resfriamento são normalmente obtidos em catálogos de fabricantes. Há uma carência de estudos sobre validação de variáveis de operação e avaliações de desempenho a partir de dados experimentais (CORTINOVIS, 2004; LIMA JÚNIOR, 2011).

As variáveis usualmente definidas na especificação de uma torre são a carga térmica a ser removida, a vazão de circulação da água, a diferença de temperatura da água entre a entrada e a saída da torre (*range*) e a diferença entre a temperatura de saída da água da torre e a temperatura de bulbo úmido do ar (*approach*) (LIMA JÚNIOR, 2011).

Embora haja conhecimento de que o efluente dos destiladores de bancada pode ser reaproveitado, o único destilador de bancada do campus Aracaju do Instituto Federal de Sergipe não reutiliza a água descartada para nenhuma finalidade. Ciente desse fato, o presente estudo

teve por objetivo desenvolver uma torre de resfriamento de baixo custo, construída com materiais alternativos em sua grande maioria, de forma a viabilizar a reutilização do efluente dos destiladores de laboratórios em outros processos, minimizando assim, o desperdício de água e a poluição térmica gerada na obtenção da água destilada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas medidas semanais durante certo período de tempo, da vazão, temperatura de saída e condutividade do efluente do destilador de bancada do Instituto Federal de Sergipe (IFS), sendo estes dados de fundamental importância para o dimensionamento da torre.

A elaboração das plantas básicas do equipamento e dos seus acessórios foi realizada utilizando o *Software GoogleSketchUpWPT-BR*.

Os suportes de recheios foram projetados para que as áreas de coleta estivessem centralizadas dos lados esquerdo e direito com telas fixadas em suas extremidades de forma a comportar o recheio. O diâmetro das perfurações abaixo do recheio foi projetado para permitir que a água aquecida gotejasse de um suporte para o outro, aumentando a superfície de contato e facilitando a troca térmica entre o ar e a água.

A seleção e obtenção dos componentes básicos da torre de resfriamento, estrutura, enchimento, sistema de distribuição de água, bacia coletora de água, aberturas laterais e sistema de circulação de ar foram condicionados à materiais já descartados em sua grande maioria, de forma a não onerar o referido projeto e dimensionados para a aplicação a um único destilador de bancada. Assim, sucatas, vidraçarias e marcenarias foram visitadas de modo à obtenção de materiais alternativos e de baixo custo.

A torre é composta de uma estrutura de madeira, planejada para comportar 5 calhas feitas de PVC, sendo 1 coletora e as demais configuram estágios de queda d'água, preenchidas com "recheio" (vidro estilhaçado), ao qual a água é gotejada por um cano de PVC que serve de distribuidor de água. O resfriamento se dá por via de correntes de convecção, provocadas por dois suportes, constituídos cada um por oito *coolers* ligados à uma fonte de tensão.

Para a realização dos testes do protótipo da torre de resfriamento, usando materiais alternativos, utilizou-se o efluente de apenas um único destilador de bancada. Controlou-se a vazão de entrada do efluente na torre, bem como a sua temperatura, passando por cada estágio até a saída do equipamento. Parâmetros como a temperatura ambiente e a temperatura de bulbo úmido foram levados em consideração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Dimensionamento do consumo de água destilada

A Figura 1 apresenta os dados de consumo de água potável em função da temperatura de saída do efluente do destilador de bancada utilizado no laboratório de química geral do Instituto Federal de Sergipe (IFS).

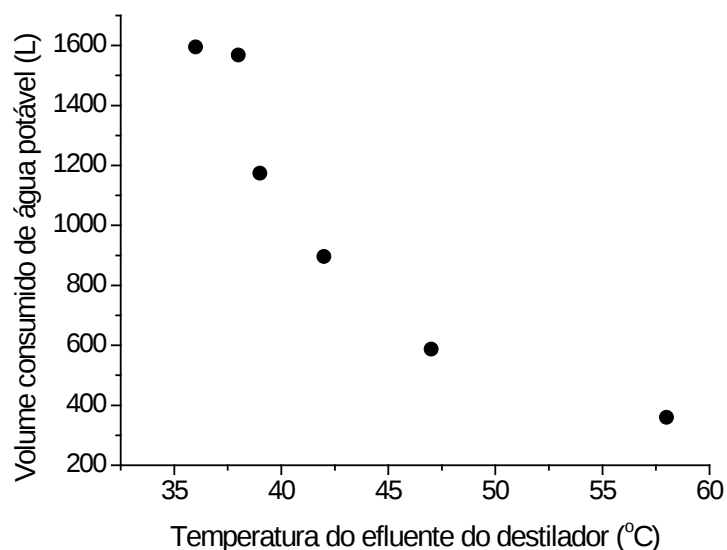


Figura 1 – Volume consumido de água potável em função da temperatura do efluente do destilador. Equipamento: destilador de bancada com vazão média de 4L/h e um tempo total de operação de 5h para a obtenção de 20L de água destilada

Verifica-se que quanto menor a temperatura do efluente maior o consumo de água potável para possibilitar a condensação do vapor d'água. Vale ressaltar que quanto maior a temperatura do efluente, menor o desperdício de água potável, porém, maior a contribuição para a poluição térmica.

O controle da vazão e temperatura da água potável que resfria o vapor d'água de um destilador de bancada é realizado de forma manual pelo técnico de laboratório; não existe um controle rígido desta vazão de água potável. Normalmente o consumo de água potável para uma batelada de 20L de água destilada fica em aproximadamente 900L, mantendo a temperatura do efluente em torno de 42°C.

O único destilador de bancada existente na Coordenação de Química (COQUI) do Instituto Federal de Sergipe (IFS) atende a seis laboratórios utilizados para ministrar aulas, além do

laboratório de pesquisa e outros setores da instituição, totalizando um consumo semanal de água destilada em torno de 100L. Este volume semanal de água destilada exige aproximadamente 4500 L de água potável, mantendo-se a temperatura do efluente em 42 °C.

3.2. Concentração de sólidos dissolvidos no efluente

Foram realizados testes para avaliar a concentração de sólidos totais dissolvidos presentes no efluente do destilador de bancada utilizando o condutivímetro Gehaka 2200.

As análises não apresentaram uma variação significativa de sólidos dissolvidos nesse efluente, sendo que o maior valor observado não ultrapassou 107 mg.L⁻¹, valor muito abaixo do máximo permitido pelos padrões de potabilidade da portaria nº 518/2004 do ministério da saúde, que estabelece como padrão 1.000 mg.L⁻¹ de sólidos totais dissolvidos (Ministério da Saúde, 2004).

3.3. Montagem final do protótipo da torre de resfriamento.

A Figura 2 apresenta detalhes do protótipo desenvolvido e seus acessórios. Os suportes do protótipo foram confeccionados utilizando-se 02 peças de madeira maracatiara maciça, com dimensões de 97 cm de altura, 25 cm de largura e 3,5 cm de espessura, confeccionadas em uma marcenaria especializada. As peças têm capacidade para suportar 04 módulos de recheio e um coletor.



Figura 2 – Protótipo da torre de resfriamento vista lateralmente com todos os seus acessórios

Os módulos de recheio foram confeccionados em cano PVC. Em cada módulo foram feitos furos de 01 mm para o gotejamento da água. A opção pela utilização do cano PVC foi devido ao custo do material. Futuramente pode-se substituir estes módulos de PVC por outro material de melhor transferência térmica para aumentar o desempenho da torre. Adaptou-se nas laterais dos módulos tampas de vasilhas plásticas para suportar o recheio.

O distribuidor do efluente e a bacia coletora de água resfriada também foram confeccionados em cano PVC. Em todo o protótipo o recheio utilizado foi o de vidro.

Para o suporte dos coolers foram utilizado 2 folhas de madeirite de 9mm de espessura, adaptadas para comportar 08 coolers em cada. Para a fixação desse suporte na torre de resfriamento, foram utilizados 04 ferrolhos de pequeno porte na parte lateral superior da torre.

A efetiva construção do protótipo da torre de resfriamento produziu um equipamento de fácil manutenção, montagem, deslocamento e com custo abaixo de R\$ 500,00.

3.4. Testes experimentais.

A Figura 3 apresenta as temperaturas de entrada e saída do efluente do destilador de bancada na torre de resfriamento em função do volume consumido de água potável para produção de 20L de água destilada, num tempo de operação de 5h.

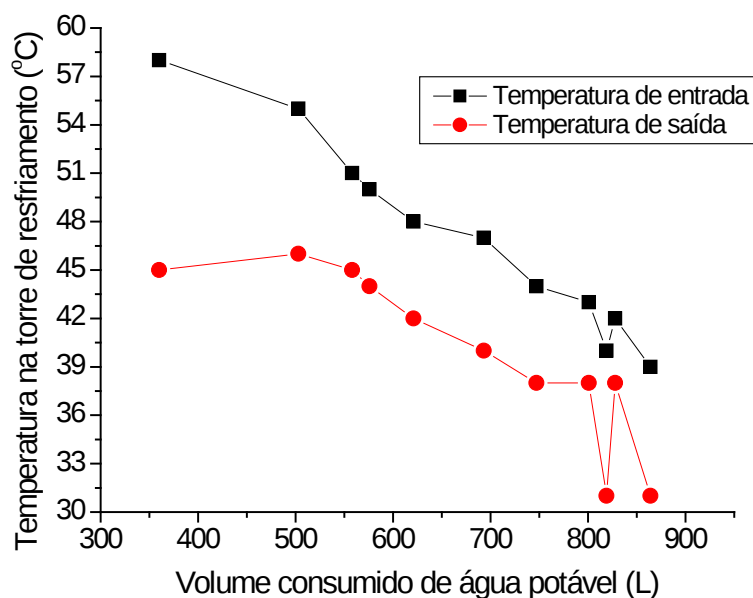


Figura 3 – Temperaturas de entrada e saída do efluente da torre de resfriamento em função do volume consumido de água potável

A análise da Figura 3 permite inferir que quanto maior a temperatura de entrada do efluente na torre, menor o consumo de água potável e maior é o *range* do equipamento. O maior *range* alcançado pela torre de resfriamento foi de 13°C, sendo a temperatura de entrada da torre de 58°C e a de saída de 45°C.

Como menor consumo de água potável significa menores vazões de entrada do efluente na torre é possível concluir que o tempo de residência do mesmo dentro do equipamento possui grande relevância para a potencialização da eficiência da torre. Quanto maior o tempo de residência do efluente no recheio, maior será o tempo de contato com as colunas convectivas de ar e melhores serão as trocas de calor entre a água e o ar.

Ainda na Figura 3, pode-se perceber que quando o efluente entra na torre de resfriamento a uma temperatura de 42°C, o mesmo é arrefecido a uma temperatura de 35°C, temperatura ideal para uma possível recirculação do efluente no próprio destilador de bancada, o que certamente evitaria o desperdício de água potável.

A Tabela 1 apresenta resultados dos testes experimentais na saída de cada um dos estágios de recheio em diferentes vazões. Através destes testes, constatou-se que cada módulo de recheio contribui para o resfriamento do efluente em 1, 2, 3 ou 4°C, dependendo da vazão de circulação.

A análise da Tabela 1 permite concluir que a presença dos estágios coletores é de suma importância para o resfriamento da água, realizando um papel fundamental na torre de resfriamento que é o de aumentar o tempo de residência do efluente no equipamento, proporcionando uma maior eficiência na troca térmica entre o ar e a água.

Todavia, observou-se que apenas 60% do recheio ficou em contato direto com a água, portanto uma troca de calor mais eficiente seria alcançada, caso houvesse uma melhor distribuição do efluente na torre.

Tabela 1 – Medidas da redução de temperatura do efluente de um destilador de bancada em cada estágio de recheio do equipamento, utilizando-se diferentes vazões

Vazão (L/h)	Temperatura do efluente de destilador de bancada (°C)	Temperatura do efluente no 1º estágio da torre (°C)	Temperatura do efluente no 2º estágio da torre (°C)	Temperatura do efluente no 3º estágio da torre (°C)	Temperatura do efluente na saída da torre (°C)
72,0	58,0	56,0	52,0	48,0	45,0
91,8	55,0	51,0	49,0	47,0	46,0
124,2	48,0	47,0	45,0	42,5	42,0
131,4	47,0	45,5	44,0	42,0	41,0
138,6	47,0	44,0	42,0	41,0	40,0

Ainda na Tabela 1, verifica-se que a maior temperatura de entrada na torre foi de 58° C e a menor temperatura de saída foi de 40° C, porém, não foram atingidas no mesmo ensaio. Ressalta-se que se o equipamento fosse composto por mais estágios de recheio, este *range* (18° C) poderia ser obtido no mesmo ensaio, aumentando a eficiência da torre.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes preliminares da torre de resfriamento construída apresentaram uma redução da temperatura do efluente do destilador de bancada de até 13°C, sendo considerado satisfatório.

Verificou-se que este resultado pode ser maximizado com a adição de novos módulos de recheio, ampliando o tempo de residência do efluente na torre e, consequentemente, o contato entre o ar e água.

As possibilidades de ajustes e melhorias do protótipo são reais e de fácil execução. A partir dos experimentos realizados pode-se inferir que há a possibilidade de reconfiguração da torre de resfriamento construída, tornando-a menos robusta que a atual, mediante a redução de 50% do comprimento e da altura dos módulos de recheios, possibilitando um aumento de números de estágios sem alterar a altura da torre, aumentando a área de troca de calor e tempo de residência, o que proporcionará melhores resultados.

Uma vez implementadas as alterações descritas acima, espera-se que a torre de resfriamento esteja apta para arrefecer o efluente oriundo dos destiladores de bancada, permitindo o seu reaproveitamento no próprio destilador mediante a montagem de um sistema aberto com recirculação de água.

Portanto, o protótipo da torre de resfriamento apresentado neste trabalho é uma importante ferramenta para combater a poluição térmica ambiental e o grande desperdício de água potável resultante do processo de produção de água destilada em laboratórios.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Sergipe e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica e recursos financeiros para realização deste projeto. Aos técnicos dos laboratórios da Coordenação de Química e ao setor de manutenção do IFS por todo apoio cedido para o término do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430/2011 altera a resolução nº357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes**. 2011.

CORTINOVIS, G. S. **Modelagem e otimização de um sistema de água de resfriamento e validação experimental**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP – EPUSP, Departamento de Engenharia Química. 159 f. São Paulo, 2004.

LIMA JUNIOR, R. C. **Modelagem fenomenológica do desempenho de torres de resfriamento de água acopladas e estudo de casos**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP – EPUSP, Departamento de Engenharia Química. 121 f. São Paulo, 2011.

MACHADO, C. Meandros do meio ambiente. 1. ed. Rio de Janeiro: E-PAPERS, 2004. 124 p.
MANCUSO, P; SANTOS, H. **Reuso de água**. 1. ed. São Paulo: MANOLE, 2003. 577 p.

MARISCO, L. V. **Reúso de efluentes provenientes de aparelhos destiladores**. Revista CIATEC – UPF, vol.6 (1), p.p.37-47, 2014.

Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25/03/2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. 2004.

SANTOS, H.F. **Reuso da água**. Revista DAE/SABESP, n. 167. set/out. São Paulo. p 23-32. 1992.

STOECKER W. F., JABARDO J. M. **Refrigeração industrial**. São Paulo: Edgard Blücher. p.1-11; 259-300. 453 p. 1994.

CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF A COOLING TOWER FOR WASTEWATER REUSE OF THE BENCH STILL

ROCHA, Raquel Estevez^{1*}; SANTOS, Fernanda Carvalho¹; ARAÚJO, Anajara Morais Lima²; SANTOS, Alejandro Wolfferson dos²; LOPES, Francisco Luiz Gumes¹

¹ Coordenação de Química, Campus Aracaju, Instituto Federal de Sergipe

² Coordenação de Alimentos, Campus Aracaju, Instituto Federal de Sergipe

* email: raquelestevez2014@gmail.com

Abstract: *The project aimed to develop the prototype of a cooling tower in bench scale, low cost and easy assembly, operating in an open system, to reduce the temperature of the effluent of distillers laboratories, enabling its reuse, avoiding waste and minimizing effects environmental thermal pollution caused by it. The tower is composed of a wooden structure, designed to contain 5 gutters made of PVC, and one collector and the other stages drop of water, filled with "stuffing" (glass shattered), to which water is dripped by a PVC pipe which serves as a water distributor. Cooling occurs via convection currents caused by two brackets, each consisting of eight coolers connected to a voltage source. Initial tests showed a temperature reduction of up to 13.0 °C. Using smaller circulation flow of the effluent from the tower, there is better efficiency thereof, since it allows a longer time of residence effluent-filling. Thus, the prototype of the cooling tower built is effective in cooling the effluent bench distillers, being an important tool to combat water waste and thermal pollution.*

Keywords: *coling tower, distiller bench, environmental thermal pollution, waste water.*