

ESTERILIZAÇÃO PELO VAPOR: ASPECTOS FUNDAMENTAIS E RECURSOS TÉCNICOS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA

Steam sterilization: fundamental aspects and technical resources to reduce water consumption

Esterilización por vapor: fundamentos y recursos técnicos para reducción del consumo de agua

Paulo Roberto Laranjeira¹, Jeane Aparecida Gonzalez Bronzatti², Rafael Queiroz de Souza³, Kazuko Uchikawa Graziano⁴

RESUMO: **Objetivo:** Discorrer sobre os aspectos fundamentais da esterilização pelo vapor e os recursos técnicos que podem ser utilizados para a redução do consumo de água no processo de esterilização. **Método:** Revisão da literatura e de normas técnicas nacionais e internacionais relacionadas aos aspectos construtivos, funcionais e de operação de equipamentos de esterilização pelo vapor saturado sob pressão. **Resultados:** A redução do consumo de água pode ser obtida pela aquisição preferencial de equipamentos com bombas *water free*, desligamento da fonte geradora de vapor quando o equipamento não estiver em uso, utilização de equipamentos com desgasificadores incorporados, montagem da carga de forma a facilitar a penetração do vapor e a diminuição do tempo de secagem, readequação da profundidade do vácuo para reduzir o tempo de uso da bomba de vácuo e manutenção preventiva dos purgadores da linha de vapor. Adicionalmente, a utilização de sistemas de pré-tratamento pode reduzir o rejeito de sistemas de tratamento de água por osmose reversa para geração de vapor. **Conclusão:** O conhecimento dos aspectos fundamentais da esterilização pelo vapor saturado sob pressão permite a implementação de medidas para a redução do consumo de água no processo de esterilização.

Palavras-chave: Vapor. Água. Esterilização.

ABSTRACT: **Objective:** To discuss the fundamentals of steam sterilization and the technical resources that can be used for a reduction of water consumption in the sterilization process. **Method:** Review of literature and technical and international standards related to the principles of construction, operation, and use of sterilization equipment by saturated steam under pressure. **Results:** The reduction in water consumption can be obtained by preferential acquisition of equipment with free water pumps, shutdown of the source of steam-generating power when the equipment is not in use, use of equipment with built-in degassers, assembly of the load in a way to facilitate vapor penetration and reduction of drying time, re-adjustment of the depth of the vacuum to the low time of use of the vacuum pump, and the preventive maintenance of the steam line traps. In addition, a pretreatment system can reduce the waste from reverse osmosis water treatment systems for steam generation. **Conclusion:** Knowledge of the fundamentals of sterilization by saturated steam under pressure allows an implementation of measures for a reduction of water consumption in the sterilization process.

Keywords: Steam. Water. Sterilization.

RESUMEN: **Objetivo:** Discutir sobre los aspectos fundamentales de la esterilización por el vapor y los recursos técnicos que pueden ser utilizados para la reducción del consumo de agua en el proceso de esterilización. **Método:** Revisión de la literatura y de normas técnicas nacionales e internacionales relacionadas a los aspectos constructivos, funcionales y de operación de equipos de esterilización por el vapor saturado bajo presión. **Resultados:** La reducción del consumo de agua puede ser obtenida por la adquisición preferencial de equipos con bombas *water free*, desconexión de la fuente generadora de vapor cuando el equipo no estuviera en uso, utilización de equipos con desgasificadores incorporados, montaje de la carga de forma de facilitar la penetración

¹Engenheiro Elétrico, Doutorando da Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil. E-mail: prlaranjeira@usp.br

²Enfermeira, Doutoranda da Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil. E-mail: jeanebronzatti@usp.br

³Enfermeiro, Mestre e Doutor em ciências, Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil. E-mail: rafaelqsouza@hotmail.com

⁴Enfermeira, Professora Titular Sênior do Departamento de Enfermagem Médico-Cirúrgica da Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo. Coordenadora Pedagógica do Curso MBA em Central de Materiais e Esterilização no Instituto Nacional de Ensino e Pesquisa – São Paulo (SP), Brasil. E-mail: kugrazia@usp.br

Recebido: 08 out. 2016 – Aprovado: 06 dez. 2016

DOI: 10.5327/Z1414-4425201700020009

del vapor y la disminución del tiempo de secado, readecuación de la profundidad del vacío para reducir el tiempo de uso de la bomba de vacío y manutención preventiva de los purgadores de la línea de vapor. Adicionalmente, la utilización de sistemas de pre-tratamiento pode reducir el rechazo de sistemas de tratamiento de agua por osmosis reversa para generación de vapor. **Conclusión:** El conocimiento de los aspectos fundamentales de la esterilización por el vapor saturado bajo presión permite la implementación de medidas para la reducción del consumo de agua en el proceso de esterilización.

Palabras clave: Vapor. Agua. Esterilización.

INTRODUÇÃO

O princípio básico da esterilização pelo vapor saturado sob pressão é permitir que cada produto seja exposto ao vapor na temperatura, tempo e pressão pré-determinados¹. Esse método de esterilização é amplamente utilizado pelos serviços de saúde por reunir muitas vantagens para produtos termorresistentes: não forma resíduos tóxicos, é de fácil controle e monitoramento, tem ciclos rápidos e um excelente poder de penetração em lúmens e sistemas de barreira estéril².

Uma vez que o processo requer água para a geração do vapor e também para a operação da bomba de vácuo ou sistema Venturi, os profissionais do Serviço de Engenharia Clínica (SEC) e do Centro de Material e Esterilização (CME) precisam de subsídios para a aplicação de recursos técnicos que reduzam o consumo de água, uma tendência mundial, além da atual crise hídrica instaurada no Estado de São Paulo.

Isso posto, este artigo de revisão tem como objetivo discurrir sobre os aspectos fundamentais da esterilização pelo vapor e os recursos técnicos que podem ser utilizados para a redução do consumo de água, com a finalidade de subsidiar os profissionais SEC e CME com informações necessárias para a revisão de seus processos, visando a segurança e uso racional da água, um recurso natural e finito.

MÉTODO

Trata-se de um artigo de revisão de literatura e de normas técnicas nacionais e internacionais relacionadas aos aspectos construtivos, funcionais e de operação de equipamentos de esterilização pelo vapor saturado sob pressão.

MECÂNICA DA ESTERILIZAÇÃO PELO VAPOR

O vapor saturado é considerado um dos melhores métodos de esterilização para produtos termorresistentes, em razão da capacidade de destruir esporos bacterianos em curto

período de exposição, aquecendo rapidamente os produtos pela transferência de calor, que ocorre pela condensação do vapor ao entrar em contato com as superfícies³.

Atualmente, os equipamentos de esterilização pelo vapor saturado sob pressão são encontrados em diversas formas e tamanhos, sendo utilizados em hospitais, clínicas, laboratórios e indústrias farmacêuticas. Basicamente, uma autoclave consiste em uma câmara de aço, revestida por outra câmara, com porta vedante em uma ou ambas as extremidades (autoclave de barreira), tendo como parâmetros críticos do processo a pressão, a temperatura e o tempo de exposição (Figura 1).

Os ciclos operacionais desse sistema variam de acordo com o processo; entretanto, podem ser resumidos, didaticamente, em três etapas: condicionamento, exposição e secagem (Figura 1).

O processo de esterilização pode ser realizado em sistemas de vapor saturado ventilado (similar ao gravitacional, indicado para esterilização de superfícies, sem eficiência na remoção de ar em cargas de densidade e lúmens), com remoção forçada de ar (um dispositivo mecânico força a remoção do ar, indicado para esterilização de cargas de densidade e lúmens), mistura ar-vapor (o ar é admitido dentro da câmara interna para preservar a integridade do produto, que pode ser afetado pela elevação da temperatura, indicado para ciclo de líquidos), borrifamento

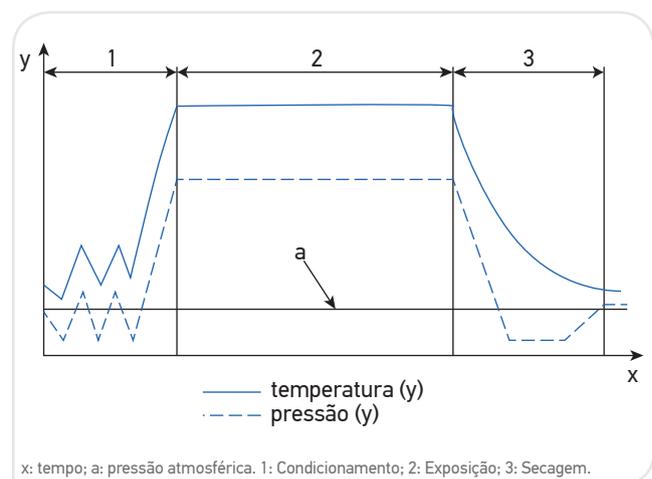


Figura 1. Fases de um ciclo de esterilização do sistema de vapor saturado com remoção forçada de ar.

de água (a água é utilizada como condutor térmico, elevando a temperatura do produto, e é indicado para ciclo em que a barreira estéril possa ser prejudicada pelo vapor) e de imersão de água (similar ao anterior, porém toda a carga fica imersa em água, e é indicado para ciclo em que o produto e a barreira estéril possam ser prejudicados pelo vapor)⁴.

Na fase de condicionamento, o ar deve ser removido da autoclave. As técnicas empregadas para a remoção do ar consistem no deslocamento gravitacional, diluição por fluxo de massa, diluição por pulsos de pressão, alto vácuo e pulsos de pressão por deslocamento gravitacional³. Independente da técnica utilizada, o ar deve ser removido da câmara para que haja penetração do vapor na carga, assegurando a esterilização. O conhecimento dos sistemas utilizados para remoção de ar da câmara é essencial, uma vez que seu funcionamento requer o uso de água, tanto na fase de condicionamento quanto na de secagem. Dessa forma, a redução da demanda por esses sistemas dentro dos ciclos é uma das principais medidas para a redução do consumo de água.

Para que o ar seja removido da câmara, é necessário o vácuo, que é obtido por meio de uma bomba ou sistema de Venturi. Existem vários modelos e configurações de bomba de vácuo, mas todas elas utilizam um meio mecânico para criar uma força centrífuga para remover o ar, o condensado residual e o vapor de dentro da câmara interna. O modelo mais comum é o de selo de água, no qual o ar entra no sistema composto por um rotor, cujo movimento das palhetas projeta a água para as paredes do sistema, criando uma zona de vácuo e, conseqüentemente um anel de água será formado, que remove o ar e o vapor ao mesmo tempo em que impede o refluxo. Nesse processo, a água utilizada para formar o anel também é desprezada com o ar, o condensado ou o vapor, retirados da câmara interna⁵.

Outros meios de selagem, além da água, podem ser utilizados, como o óleo, que é disponibilizado em bombas com tecnologia mais recente, denominadas *water free*.

O vácuo obtido por sistemas do tipo Venturi não é o mais eficiente e gera maior consumo de água ou ar comprimido. O funcionamento desse sistema é relativamente simples: a água com pressão e velocidade entra por uma tubulação, onde o diâmetro é reduzido a 1/3 da entrada e depois é aumentado novamente para um diâmetro maior que o da entrada. No local onde o diâmetro é reduzido, é conectado um tubo de entrada de diâmetro pequeno, ligado à câmara interna (Figura 2). O diferencial de pressão gerado nessa região pelas diferenças nos diâmetros das tubulações forma um vácuo nessa entrada, permitindo a retirada do ar, condensado e vapor da câmara interna⁶.

Para os equipamentos com bomba de vácuo, o consumo de água por ciclo de esterilização é de 150 a 600 L, de acordo com o modelo, marca e tamanho da autoclave. Já as autoclaves que utilizam o sistema Venturi para gerar vácuo, cuja dimensão da câmara interna não ultrapassa 250 L, podem consumir até 700 L de água por ciclo.

Na fase de esterilização, também conhecida como fase de patamar ou exposição, o ar já foi removido da câmara, que está preenchida pelo vapor saturado, e a temperatura prescrita para o ciclo, em geral 121 ou 134°C, foi alcançada. Dessa forma, o produto é exposto a essa temperatura pelo tempo necessário para o alcance da esterilidade³.

Na fase de secagem, quando ocorre a exaustão do vapor da câmara interna, por meio do sistema de vácuo, a secagem é iniciada. O condensado residual evapora devido à redução da pressão interna da câmara e a elevada temperatura em que os produtos e as paredes da câmara estão nesse momento. Ao atingir o patamar máximo de vácuo, a velocidade da evaporação é reduzida, devido à baixa condutividade térmica dentro da câmara interna.

ECONOMIA DE ÁGUA NA ESTERILIZAÇÃO PELO VAPOR

Durante o processo de esterilização a vapor, a água é utilizada para gerar vapor e para fazer funcionar a bomba de vácuo ou sistema Venturi. O consumo de água com o gerador em modo de espera é de aproximadamente 20% do consumo de água durante a geração de vapor⁷; portanto, haverá redução do consumo de água com desligamento da fonte geradora de vapor quando o equipamento não estiver em uso.

Na fase de condicionamento, um ponto a ser observado é a qualidade da água para geração do vapor, que deve ser livre de impurezas e gases não condensáveis, os quais serão arrastados juntamente com o vapor para dentro da câmara interna, formando uma barreira que impedirá o contato do vapor com a carga. Esse processo aumenta a formação de condensado, que demandará maior tempo de secagem, com conseqüente aumento do consumo de água.

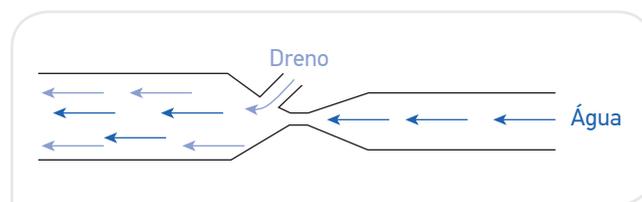


Figura 2. Sistema Venturi de vácuo.

onde:

x = fração da massa de líquido remanescente após atingir o patamar de vácuo;

u_{ini} = energia interna do líquido saturado no final da fase de esterilização;

u_{final} = energia interna do líquido saturado no nível máximo de vácuo;

h_g = entalpia média do vapor saturado durante a fase de secagem (entalpia média no final da fase de esterilização e no nível máximo de vácuo).

Atualmente, ao identificar pacotes molhados, a solução comumente adotada pelos profissionais é a de aumentar o tempo de secagem. Essa solução não é a mais adequada, pois primeiramente deve-se observar se o patamar de vácuo está corretamente configurado de acordo com o limite mínimo estabelecido pelo fabricante. Caso contrário, o tempo de secagem deverá ser maior para conseguir o resultado esperado, o que implica em maior consumo de água. Para cada minuto com a bomba de vácuo ou sistema Venturi ligados, o consumo de água será entre 10 a 20 L por minuto, dependendo do equipamento e modelo.

Os ajustes no equipamento para a secagem de produtos precisam ser revistos com base na mecânica de funcionamento, pois a eficiência da secagem não está atrelada ao tempo, mas sim à profundidade do vácuo, na qual o argumento técnico deve ser aumentar o patamar de profundidade do vácuo em vez de aumentar o tempo. A eficiência do sistema de vácuo é aumentada também com a redução da temperatura da água que passa pela bomba de vácuo. Em países que adotam a norma técnica EN285:2009⁷, a temperatura máxima da água deve ser de 15°C, pois a viscosidade da água interfere na performance de bombas de vácuo.

Seguindo as recomendações apresentadas, os usuários que hoje trabalham com tempo de secagem superior a 15 minutos terão uma redução significativa no consumo de água.

Além da profundidade do vácuo, há outras medidas para evitar pacotes molhados e consequente aumento do tempo de secagem, como a disposição de produtos de conformação côncavo-convexa na posição vertical ou inclinados¹¹, a qual evita a formação de condensado na concavidade e facilita a secagem, reduzindo o uso da bomba de vácuo; uso de caixas que não excedam 11,5 kg, uma vez que o peso acima dificulta a secagem¹²; e utilização de sistemas de barreira estéril, caixas perfuradas e suportes para instrumental permeáveis ao vapor¹², que consequentemente, facilitarão a secagem. Ressalta-se que o processo de secagem dos produtos fabricados em polímeros será mais longo, por não ter as mesmas propriedades de condução de calor que os metálicos, como aço inoxidável e alumínio anodizado.

Para a redução do uso do sistema de vácuo, os equipamentos devem ser mantidos em ótimas condições de operação. Dessa forma, é necessário investigar o possível entupimento do canal de drenagem¹² e dimensionamento adequado dos purgadores da rede de vapor¹³.

CONCLUSÃO

A redução do consumo de água pode ser obtida por medidas como: aquisição preferencial por equipamentos com bombas *water free*, desligamento da fonte geradora de vapor quando o equipamento não estiver em uso, utilização de equipamentos com desgasificadores incorporados, montagem da carga de forma a facilitar a penetração do vapor e reduzir o tempo de secagem, readequação da profundidade do vácuo para reduzir o tempo de uso da bomba de vácuo e manutenção preventiva dos purgadores da linha de vapor. Adicionalmente, a utilização de sistemas de pré-tratamento pode reduzir o rejeito de sistemas de tratamento de água por osmose reversa para geração de vapor.

REFERÊNCIAS

1. Perkins JJ. Principles and methods of sterilization in health science. Springfield: Charles C. Thomas; 1983.
2. Rutala WA, Weber DJ. Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities [Internet]. Atlanta: Center for Diseases Control and Prevention. HICPAC; 2008 [cited 2015 jul 27]. Available from: http://www.cdc.gov/ncidod/dhqp/pdf/guidelines/Disinfection_Nov_2008.pdf
3. Joslyn LJ. Sterilization by heat. In: Block SS. Disinfection, sterilization, and preservation, 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p. 695-728.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR ISO 17665-1: Esterilização de produtos para saúde - Vapor - Parte 1: Requisitos para o desenvolvimento, validação e controle de rotina nos processos de esterilização de produtos para saúde. Rio de Janeiro: ABNT; 2010.

5. Lewin SZ. Chemical instrumentation: Vacuum pumps. *Journal of Chemical Education*. 1959;36(7):A391-A446.
6. Jackson ML, Collins WD. Scale-up of a venturi aerator. *I&EC Process Design and Development*. 1964;3(4):386-393.
7. European Committee for Standardization. Sterilization – Steam Sterilizers – Large Sterilizers. European Standard EN 285, European Committee for Standardization, Brussels; 2009.
8. Stewart BM. The production of high-purity in the clinical laboratory water. *Laboratory Medicine*. 2000; 31(11):605-12.
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR ISO 17665-2: Esterilização de produtos para saúde - Vapor – Parte 2: Guia de aplicação da ABNT NBR ISO 17665-1. Rio de Janeiro: ABNT; 2013.
10. Morrissey RF, Phillips GB. Sterilization technology – A practical guide for manufactures and users of health care products. New York: Van Nostrand Reinhold; 1993.
11. Graziano KU, Lacerda RA, Turrini RTN, Bruna CQM, Silva CPR, Schmitt C, Moriya GAA, Torres LM. Indicators for evaluation of processing dental-medical-hospital supplies: elaboration and validation. *Rev Esc Enferm USP*. 2009;43(n. esp 2):1174-80.
12. Association of Perioperative Registered Nurses (AORN). Perioperative Standards and Recommended Practices. Denver: AORN; 2013.
13. Reichert M, Young JH. Sterilization technology for health care facility. Maryland: Aspen Publication; 1993.