

RENOVAÇÃO DA ATMOSFERA DE SUBMARINOS



Capitão de Fragata (EN) Ana Paula Santiago De Falco
Primeiro-Tenente (EN) Felipe Brandão de Souza Mendes
Primeiro-Tenente (EN) Priscila Richa Ribeiro Ferreira

1 INTRODUÇÃO

Importantes na dissuasão naval, os submarinos são uma arma de guerra cuja característica principal é a ocultação. Para tirar proveito dessa vantagem operativa, os submarinos devem ser silenciosos e permanecer o máximo de tempo possível submersos. Por isso, um dos maiores desafios tecnológicos é a renovação da sua atmosfera, que se degrada principalmente devido à tripulação. A respiração humana consome oxigênio (O_2) e gera dióxido de carbono (CO_2), portanto, em um ambiente fechado onde não há renovação natural da atmosfera, a quantidade de O_2 diminui e a quantidade de CO_2 aumenta com o tempo.

Os seres humanos necessitam de valores mínimos de O_2 para conseguir respirar, além disso, altos níveis de CO_2 são tóxicos. A composição da atmosfera a bordo de um submarino deve levar em consideração esses limites fisiológicos, além dos limites para a segurança operacional. Algumas referências limitam o nível máximo de CO_2 a bordo como 1% e o nível mínimo de O_2 em 17% para garantir a saúde da tripulação. Em termos de

segurança, o limite máximo de O_2 é restrito a 22% para que não haja risco de incêndio, enquanto o limite de H_2 deve ser mantido menor que 1% para evitar explosões.

A dinâmica de degradação da atmosfera é a mesma para submarinos convencionais e nucleares, porém o tipo de propulsão delimita a rotina de regeneração da atmosfera. Como os submarinos convencionais utilizam uma planta de propulsão diesel elétrica, é necessário que eles recarreguem a bateria de tempos em tempos. Para isso, o submarino tem que realizar *snorkel* para admitir oxigênio e realizar combustão nos motores de combustão principal (MCP). Por outro lado, os submarinos nucleares não necessitam de oxigênio para gerar energia devido à característica do processo de fissão.

Os submarinos convencionais também utilizam o *snorkel* para renovar sua atmosfera, quando o ar contaminado no seu interior é forçado para o exterior, à medida que o ar puro do exterior é aspirado para o seu interior. Para realizar essa manobra, é necessário que o submarino permaneça na cota periscópica, ficando vulnerável à detecção inimiga, o que diminui sua capacidade de ocultação.

Entre as manobras de *snorkel*, os submarinos convencionais precisam remover CO₂ da sua atmosfera e, para isso, utilizam cal sodada.

Os submarinos nucleares devem realizar o mínimo de manobras de *snorkel* possível de forma a explorar ao máximo sua capacidade de ocultação. Nesse sentido, os três fatores

limitantes à duração de comissões são a capacidade de renovação da sua atmosfera, a capacidade de armazenamento de gêneros alimentícios, além da capacidade física e psicológica da tripulação (Figura 1). Portanto, para que a renovação da atmosfera não seja um limitador, é necessário que haja a bordo uma tecnologia regenerativa.

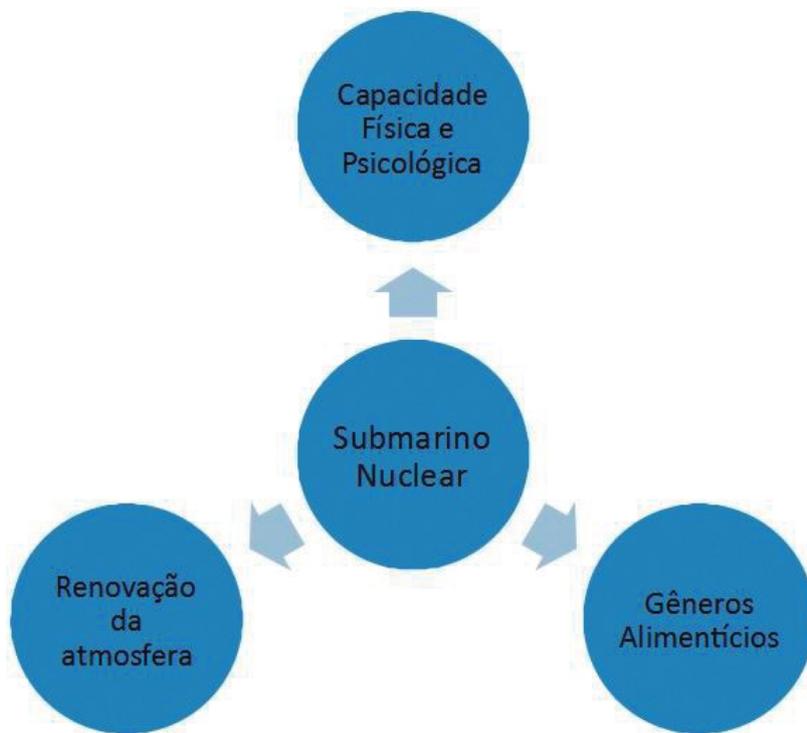


Figura 1 - Fatores limitantes na autonomia do submarino nuclear.

2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE O₂

O processo de produção de O₂ mais utilizado atualmente em submarinos é a eletrólise da água, na qual a molécula de água

é quebrada pela aplicação de uma corrente elétrica, produzindo oxigênio e hidrogênio (H₂) (Figura 2). Trata-se de uma tecnologia consolidada em que as inovações atuais se concentram para melhorias do processo.

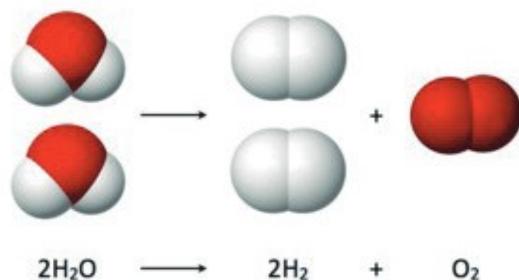


Figura 2 - Eletrólise da água.

3 PROCESSOS DE REMOÇÃO DE CO₂

Em submarinos convencionais, utiliza-se cal sodada para remoção de CO₂ da sua atmosfera. Trata-se de um processo não regenerativo, ou seja, a cal sodada não pode ser regenerada após ser consumida. Por outro lado, os submarinos nucleares requerem processos regenerativos para purificação de suas atmosferas para prover a autonomia demandada em longas comissões. Os processos regenerativos permitem que sejam realizados diversos ciclos de purificação da atmosfera, sem a necessidade de armazenamento de insumos. Atualmente, as tecnologias mais utilizadas para remoção de CO₂ em submarinos nucleares são a absorção utilizando aminas líquidas e a adsorção por meio de peneira molecular.

3.1 Cal Sodada

A absorção de CO₂ utilizando cal sodada, mistura de sólidos contendo óxido de cálcio e hidróxido de sódio, ocorre por meio da reação química entre o gás e o sólido, formando principalmente carbonato de cálcio (CaCO₃) e

carbonato de sódio (NaCO₃). Nesse processo, a cal sodada é consumida, sendo necessário o armazenamento de grandes quantidades de *canisters* a bordo, assim como a troca constante dos *canisters* sempre que saturados. Nos submarinos convencionais, a cal sodada é utilizada para retardar a degradação das atmosferas entre as manobras de *snorkel*. Nos submarinos nucleares, a cal sodada é utilizada em caso de avarias no sistema de remoção regenerativo.

3.2 Coluna de Absorção

A absorção química é um processo no qual há transferência de um componente de uma fase para outra devido à solubilidade e à diferença de concentração entre as fases. Mais especificamente, no caso da absorção gasosa, há transferência de um componente de uma corrente gasosa para uma corrente líquida. Nos submarinos nucleares, uma corrente de ar contaminado, com CO₂, é passada em uma coluna de absorção com uma corrente líquida de monoetanolamina (MEA) (Figura 3). Então, o CO₂ é transferido de uma corrente

para a outra e são obtidas uma corrente de ar puro, que é recirculada no submarino, e uma corrente de MEA contaminada, com CO_2 , que é regenerada. A regeneração da MEA contaminada permite que ela seja separada do CO_2 por aquecimento, assim a MEA pura é reutilizada na coluna de absorção. Essa tecnologia apresenta como principais limitações o alto consumo energético na etapa de regeneração da MEA, além do potencial risco de vazamento de vapores tóxicos de MEA na atmosfera do submarino.

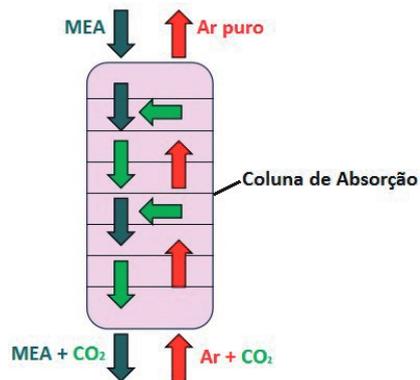


Figura 3 - Coluna de Absorção com monoetanolamina (MEA).

3.3 Coluna de Adsorção

A adsorção é o fenômeno de adesão de moléculas de um componente a uma superfície sólida. Nos submarinos nucleares, uma corrente de ar contaminado, com CO_2 , é passada em uma coluna de adsorção composta de peneiras moleculares (Figura 4). Então, o CO_2 fica retido na peneira molecular e obtém-se uma corrente de ar puro, que é recirculada

no submarino. Esta tecnologia apresenta como desvantagens o elevado investimento inicial e o elevado grau de complexidade do controle do processo. Além disso, outro fator limitante do processo é a necessidade de utilizar elevadas pressões, em torno de 200 bar, para que a adsorção ocorra a contento. Para alcançar elevadas pressões é necessário utilizar compressores que consomem muita energia e geram ruídos que prejudicam a oclusão do submarino.

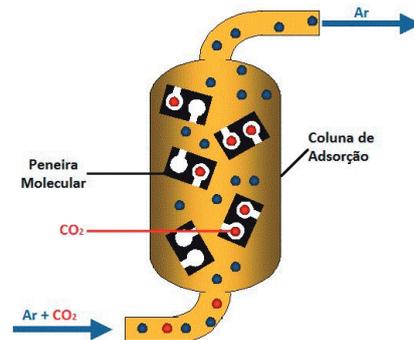


Figura 4 - Coluna de Adsorção com Peneira Molecular.

3.4 Membranas

Como alternativa tecnológica aos processos convencionais apresentados acima, o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) vem estudando a utilização de membranas para intensificar a remoção de contaminantes gasosos. Membranas são barreiras que separam duas fases e que restringem total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases.

O corpo humano é composto por diversas membranas que realizam funções vitais, tais como as membranas do pulmão e do rim, as membranas plasmáticas, entre outros. A elevada razão área/volume alcançada quando se utiliza membranas é a principal vantagem dessa tecnologia.

Os processos para purificação de gases utilizando membranas são a permeação gasosa e o contactor com membranas (Figura 5). Nos

contactores, a membrana utilizada é porosa e o líquido absorvedor deve ter afinidade pelo CO_2 , para que ocorra sua migração pelos poros da membrana e este seja removido da corrente de ar contaminado. Na permeação, a membrana é densa e deve ter afinidade pelo CO_2 , para que ele se dissolva na membrana e passe para o outro lado quando pressurizado, sendo removido da corrente de ar contaminado e eliminado do submarino.

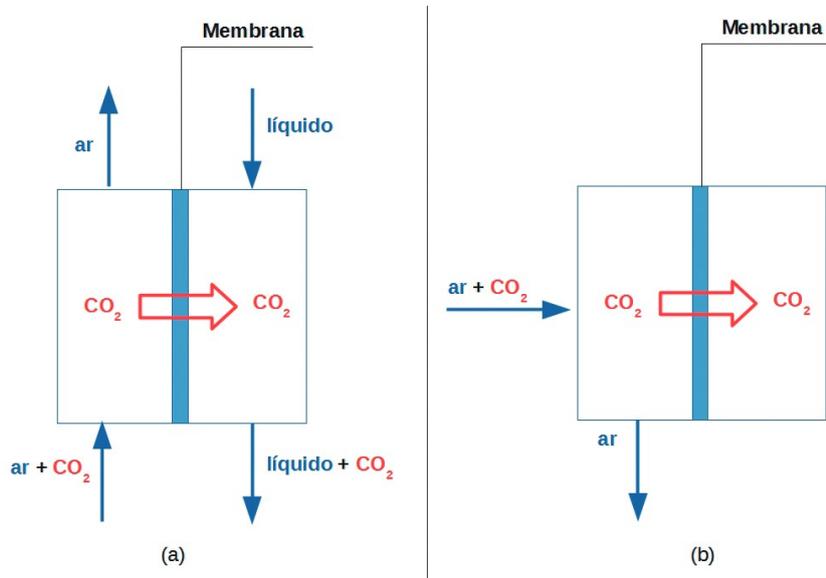


Figura 5 - Processos de separação por membrana: (a) contactores com membrana e (b) permeação gasosa.

4 CONCLUSÃO

A atmosfera dos submarinos, por ser um espaço fechado e habitado, sofre constante deterioração devido, principalmente, à produção de CO_2 e ao consumo de O_2 em decorrência da

respiração da tripulação. De modo a garantir a habitabilidade dos submarinos, sem prejuízo a sua capacidade de ocultação, é necessário que haja a renovação forçada do ar no seu interior. As tecnologias mais utilizadas para purificação do ar em submarinos nucleares são a ab-

sorção por aminas e a adsorção por peneiras moleculares. Esses processos apresentam diversas limitações operacionais e de segurança, por isso, novas alternativas tecnológicas devem ser encontradas. O IPqM vem estudando contactores e permeação gasosa com membranas como substitutos aos processos convencionais para renovação da atmosfera de submarinos devido à elevada razão área/volume dos equipamentos, que ocupam menos espaço a bordo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, R. W. *Membrane technology and applications*. 2. ed. California, EUA: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- CAREY, R.; GOMEZPLATA, A.; SARICH, A.. *An overview into submarine CO2 scrubber development*. *Ocean Engineering*, [s.l.], v. 10, n. 4, p.227-233, jan. 1983. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0029-8018\(83\)90010-0](http://dx.doi.org/10.1016/0029-8018(83)90010-0).
- GABELMAN, Alan; HWANG, Sun-tak. *Hollow fiber membrane contactors*. *Journal Of Membrane Science*, [s.l.], v. 159, n. 1-2, p.61-106, jul. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0376-7388\(99\)00040-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0376-7388(99)00040-x).
- LI, Jing-liang; CHEN, Bing-hung. *Review of CO2 absorption using chemical solvents in hollow fiber membrane contactors*. *Separation And Purification Technology*, [s.l.], v. 41, n. 2, p.109-122, fev. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2004.09.008>.
- MINISTRY OF DEFENCE. DBR 1326: *Regulations for Atmosphere Control in Submarines*. Londres: Ministry Of Defence, 2006.
- NOXERIOR. *Pressure Swing Adsorption*. Disponível em: <http://www.noxerior.com/technology/pressure-swing-adsorption-psa.html>. Acesso em: 16 mai. 2017.
- PADILHA, Luiz. Submarino Nuclear Brasileiro "Álvaro Alberto" SN-10. 2012. Disponível em: <http://www.defesaereanaval.com.br/submarino-nuclear-brasileiro-alvaro-alberto-sn-10/>. Acesso em: 07 dez. 2012.
- PEREIRA, B. Absorção Gasosa. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/KatiaSouza5/absoro-gasosa>. Acesso em: 16 mai. 2017.
- PERSSON, O; WADSOE, L. *Indoor Air Quality In Submarines; International Conference on Indoor Air Quality and Climate Pages*, p.806-811, 2002.
- RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.; VERVAEREN, H.. *Techniques for transformation of biogas to biomethane*. *Biomass And Bioenergy*, [s.l.], v. 35, n. 5, p.1633-1645, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>.