



Primeiro-Tenente (EN) Christovam Leal Chaves

Ajudante da 2ª Divisão de Projetos da DOCM.

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Programa de Mestrado Integrado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Portugal (FEUP). Curso de Extensão em Engenharia do Ar Condicionado - Instituto Militar de Engenharia (IME).

ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE AR CONDICIONADO MAIS EFICIENTES NAS INSTALAÇÕES TERRESTRES DA MARINHA DO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é apresentar ao leitor uma descrição sucinta dos principais tipos de sistemas de ar condicionado presentes no mercado nacional, descrever o conceito de sustentabilidade e relacioná-lo aos projetos de climatização da Marinha do Brasil.

Para tanto, será apresentado um estudo de caso onde o sistema de ar condicionado de uma edificação específica terá seu consumo energético atual comparado com o consumo energético do mesmo sistema, porém utilizando equipamentos condicionadores mais eficientes.

2. SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Sistemas de ar condicionado são os maiores responsáveis pelo consumo energético nas instalações prediais. Assim, o conceito de sustentabilidade aplicado nos projetos de instalações passa, principalmente, pela definição correta do sistema de condicionamento de ar a ser empregado, bem como pela especificação de equipamentos mais eficientes.

Tais sistemas são baseados na troca térmica entre o ar e o ciclo de refrigeração, consistindo em um conjunto de processos termodinâmicos, conforme demonstrado na Figura 1. São eles: evaporação (4-1), compressão (1-2), condensação (2-3) e expansão (3-4). Esses processos são, basicamente, classificados quanto à forma como ocorre a troca de calor entre o ar e o fluido refrigerante, podendo ser de expansão direta ou indireta.

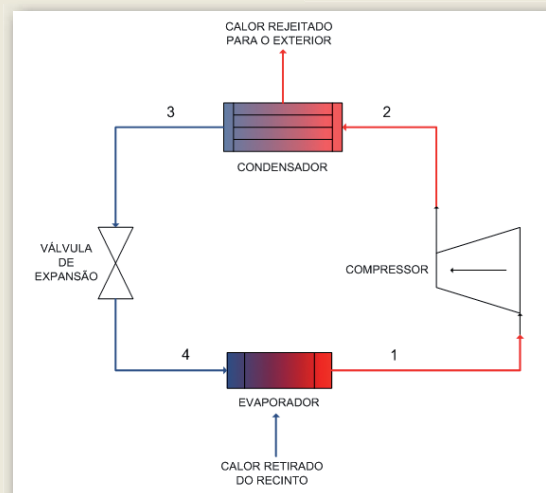


Figura 1 – Diagrama Básico do Ciclo de Refrigeração. Fonte: Elaborada pelo autor.

Sistemas de expansão direta são aqueles onde o ar do ambiente é resfriado diretamente pelo fluido refrigerante. A troca de calor com o ambiente ocorre com a passagem do fluido refrigerante através da serpentina (DE SOUZA, 2010, p.5). Os sistemas mais comuns são os aparelhos de janela, equipamentos *split*, *self-contained*, *split* para dutos, *roof-top* (Figura 2) e sistemas de fluxo variável.

Já os de expansão indireta são sistemas onde o ar do ambiente é resfriado por um fluido intermediário, normalmente a água. Neste caso, o sistema é conhecido como “Água Gelada”, sendo formado basicamente por unidades resfriadoras de líquido (*chiller*), unidades condicionadoras de ar e equipamentos auxiliares.



Figura 2 – Unidade Condicionadora *Roof-Top*.
Fonte: Daikin Macquay. Disponível em www.salesportal.daikinapplied.com.
Acesso em 28 de julho de 2014.

O *chiller* (Figura 3) resfria a água e essa é distribuída para as unidades condicionadoras de ar através de redes de dutos, com a finalidade de condicionar o ambiente. Uma vez realizada a troca térmica, a água, agora chamada de água quente, retorna através das redes e troca calor nas torres de arrefecimento, se o sistema for de condensação à água, ou retorna diretamente ao *chiller*, se o sistema for resfriado a ar.



Figura 3 - Unidade resfriadora de líquido.
Fonte: Daikin Macquay.
Disponível em www.enbien.com. Acesso em 21 de julho de 2014.

3. SUSTENTABILIDADE NOS PROJETOS DE CLIMATIZAÇÃO

Com o advento da revolução industrial, a sociedade experimentou níveis cada vez maiores de desenvolvimento relativo e consumo. Desta forma, as demandas globais por energia, matéria-prima e demais insumos cresceram de forma diretamente proporcional, levando-a a um possível panorama de escassez.

Para alcançar este patamar de desenvolvimento, preocupações ambientais e sociais praticamente não existiram por um longo período de tempo, acarretando assim um crescimento desordenado e desestruturado sob o ponto de vista sustentável, cujos reflexos são sentidos nos dias atuais e ficarão cada vez mais nítidos (DE SOUZA; HRUSCHKA; GONÇALVES, 2014, p. 153).

Para tentar reduzir os impactos deste crescimento desordenado, diversas instituições têm investido recursos na tentativa de integrar atitudes e comportamentos socialmente responsáveis, através da realização de estudos e relatórios, visando adotar estratégias que melhor se adequem com o desenvolvimento global.

A Marinha do Brasil possui instalações terrestres novas e antigas, algumas centenárias, quando não existia um panorama de escassez de recursos nem os problemas ambientais hoje vividos. Para as novas instalações, bem como para intervenções nas já existentes, a Diretoria de Obras Civas da Marinha (DOCM) vem desenvolvendo projetos utilizando conceitos ambientais.



Segundo MAYNART (2013), o perfil de consumo de energia elétrica nos prédios públicos, que é o caso da Marinha do Brasil, segue o seguinte padrão:

- a) sistemas de ar condicionado com 48%;
- b) Iluminação com 24%;
- c) equipamentos de escritório com 15%; e
- d) elevadores e bombas com 13%.

Desta forma, é possível afirmar que os sistemas de ar condicionado são os maiores responsáveis pelo consumo energético nas instalações. Assim, o conceito de sustentabilidade aplicado nos projetos de instalações passa, principalmente, pela definição correta do sistema de condicionamento a ser empregado.

Cabe ressaltar que a carga térmica da edificação se reduz quando há uma maior integração com as demais especialidades, como por exemplo ao especificar uma fachada que transmita menos calor, barreiras à irradiação solar, materiais de construção com propriedades condutivas menores, iluminação mais eficiente e melhor posicionamento em relação à incidência solar. A DOCM busca tal integração nos novos projetos das diversas especialidades, visando a reduzir o consumo energético nas instalações da forma mais eficiente.

4. ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DO EDIFÍCIO BARÃO DE LADÁRIO

O Edifício Barão de Ladário (EBL), construído na década de 70 e situado no Centro do Rio de Janeiro próximo ao complexo do Comando do 1º Distrito Naval (Com1ºDN), abriga sete Organizações Militares (OM) de interesse estratégico para a Administração Naval.

Neste estudo de caso, serão comparados os equipamentos atualmente instalados, que utilizam compressores alternativos, com os novos equipamentos que utilizam compressores *inverter*, que são mais eficientes.

O sistema de climatização atualmente instalado consiste em um sistema de expansão direta, do tipo *self-contained* resfriado à água, com compressores alternativos e gás refrigerante R-22.

Cada pavimento, em sua concepção típica original, conta com dois equipamentos *self-contained* de 10 TR de capacidade e dois equipamentos de 5 TR de capacidade, totalizando uma capacidade instalada do sistema central de 30 TR por pavimento.



Especificamente em relação aos equipamentos, as máquinas de 5 TR apresentam apenas um compressor alternativo, enquanto as máquinas de 10 TR apresentam dois compressores alternativos iguais ao do anterior, enfatizando que os compressores alternativos são menos eficientes e duráveis que os rotativos. O consumo a plena carga destes compressores é de 7,5 kW.

Como referência para equipamentos que utilizam compressor *inverter*, o esquema de montagem é semelhante ao utilizado nos condicionadores convencionais, onde são utilizados arranjos de compressores de 5 TR, porém do modelo *inverter*. Será utilizado como referência o compressor do Fabricante TRANE, para os modelos SAVE. A potência consumida a plena carga destes compressores é de 4,17 kW.

4.1. ESTIMATIVA DO CONSUMO ENERGÉTICO

Para avaliar o consumo energético do EBL será considerado um coeficiente conhecido como *Integrated Part-load Value* (IPLV), que consiste na eficiência em carga parcial dos equipamentos. Segundo o AHRI 560 (2000), os equipamentos funcionam segundo o padrão:

- Funcionamento a 100% da Carga por 1% do tempo;
- Funcionamento a 75% da Carga por 42% do tempo;
- Funcionamento a 50% da carga por 45% do tempo; e
- Funcionamento a 25% da carga por 25% do tempo.

O IPLV é calculado segundo a equação 4.1:

$$\text{IPLV} = \frac{1}{\frac{1\%}{A} + \frac{42\%}{B} + \frac{45\%}{C} + \frac{25\%}{D}} \quad (4.1)$$

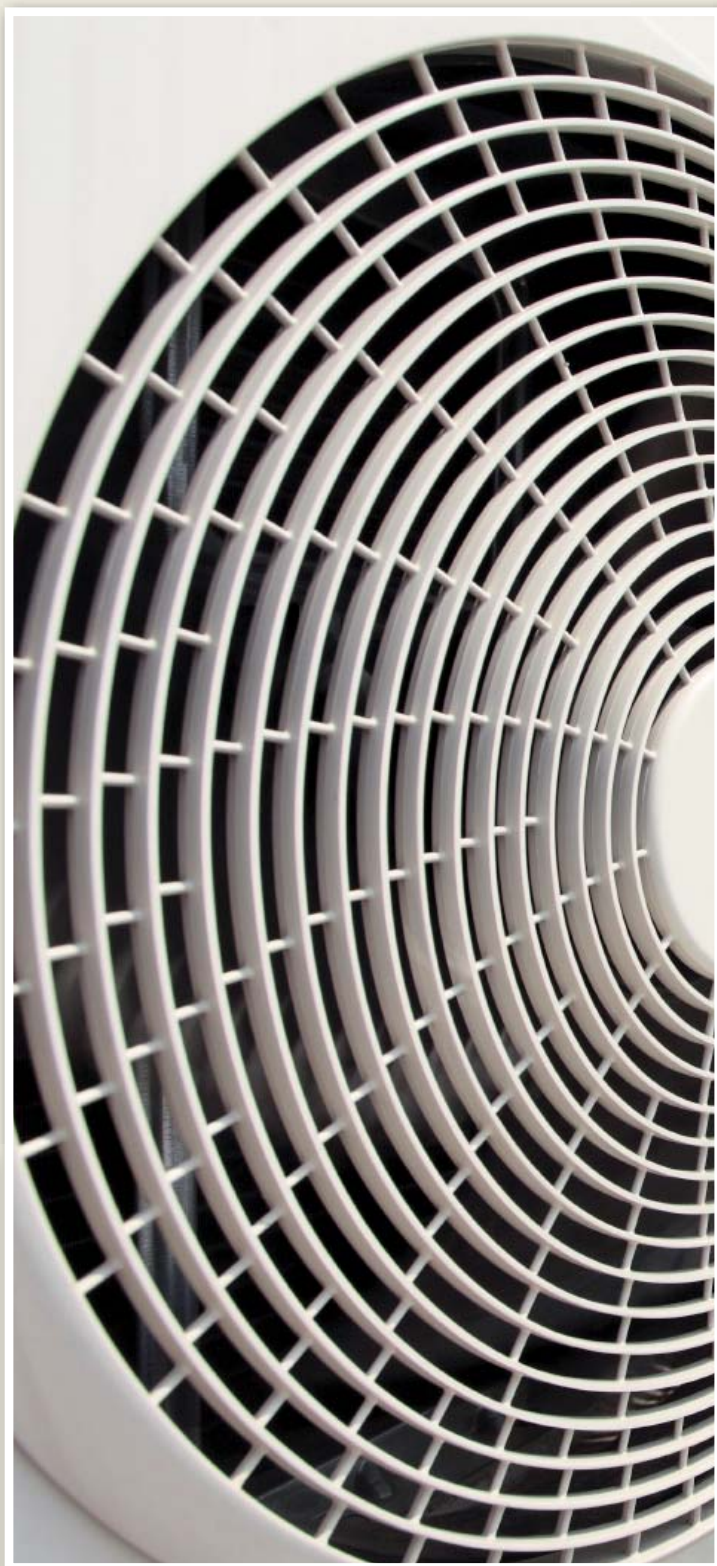
Onde,

A = 100 % do coeficiente de eficácia (kW/TR);

B = 75% do coeficiente de eficácia (kW/TR);

C = 50% do coeficiente de eficácia (kW/TR); e

D = 25% do coeficiente de eficácia (kW/TR).



Já o coeficiente de eficácia é fornecido pelos fabricantes com a designação de COP, sendo constituído pela razão entre a potência consumida, em kW, e a energia retirada do ambiente pelo resfriamento em Toneladas de Refrigeração (TR).

Os compressores convencionais, aplicando a equação 4.1, apresentam o IPLV igual a 0,77 kW/TR. Já para os compressores *inverter*, o IPLV calculado foi de 0,44 kW/TR. Valor este correspondente a apenas 56% do valor calculado para os equipamentos convencionais.



4.2. ESTIMATIVA DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA

O consumo anual dos sistemas (Cons) será calculado levando-se em consideração a equação 4.2. Já o custo anual com energia elétrica (CE) será calculado levando-se em consideração a equação 4.3.

$$\text{Cons} = \text{IPLV} \times \text{CT} \times \text{H} \quad (4.2)$$

Onde,
Cons = Consumo anual dos sistemas (kWh);
IPLV = Eficiência em carga parcial conforme item 4.1;
CT = Carga térmica do EBL; e
H = Horas de funcionamento do sistema no ano (h/ano).

$$CE = \text{Cons} \times TE \quad (4.3)$$

Onde,

CE = Custo com energia elétrica;

Cons = Consumo anual dos sistemas (kWh); e

TE = Tarifa não residencial de energia elétrica, segundo Light (2014), igual a 0,46 R\$/kWh.

Desta forma, o consumo energético anual calculado para o sistema de ar condicionado atualmente instalado é de 1.268.467 kWh por ano. Agora avaliando o custo anual com energia elétrica, segundo a equação 4.2, o valor é de R\$ 583.494,90 ao ano.

Para os equipamentos com compressores *inverter*, o consumo energético anual calculado é de 708.365 kWh por ano, correspondendo assim, a um custo anual de R\$ 325.847,80. Valor este correspondente a, aproximadamente, apenas 55,8% do custo anual da instalação atualmente em uso.

Ambos os equipamentos aqui comparados compõem a mesma estratégia para climatização de ambientes do EBL: sistema de expansão direta com condensador remoto do tipo *self-contained*. Porém, apenas especificando um tipo diferente de compressor, foi possível reduzir o consumo energético em 560.102 kWh ao ano, representando uma economia de R\$ 257.647,10.

Para avaliar o custo de instalação do novo sistema, primeiramente foi calculada a nova carga térmica do EBL. Para isso, foram consideradas as alterações arquitetônicas (principalmente a instalação da fachada de vidro), o aumento de pessoal e de material observados na edificação em relação a sua concepção original. O valor calculado foi de 40 TR por pavimento.

Tendo conhecimento dessa nova carga térmica, o custo para a instalação do novo sistema proposto, contemplando as máquinas condicionadoras, tubulações, sistema de arrefecimento de água e demais equipamentos periféricos, foi estimado através da metodologia proposta pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), que remete a um custo base de R\$ 4.725,00 por TR, valor esse já considerando o fator de dificuldade de uma instalação nova em uma edificação existente.

Portanto, considerando os 22 pavimentos, o custo de instalação para o EBL é de aproximadamente R\$ 4.158.000,00.

Ao realizar uma avaliação técnica e econômica, levando-se em consideração os custos de operação, manutenção e uma taxa de capitalização de 5% ao ano, é possível mostrar que o Tempo de Retorno de Investimento, no caso de uma substituição dos equipamentos, é de 12 anos, conforme mostrado na Figura 4.

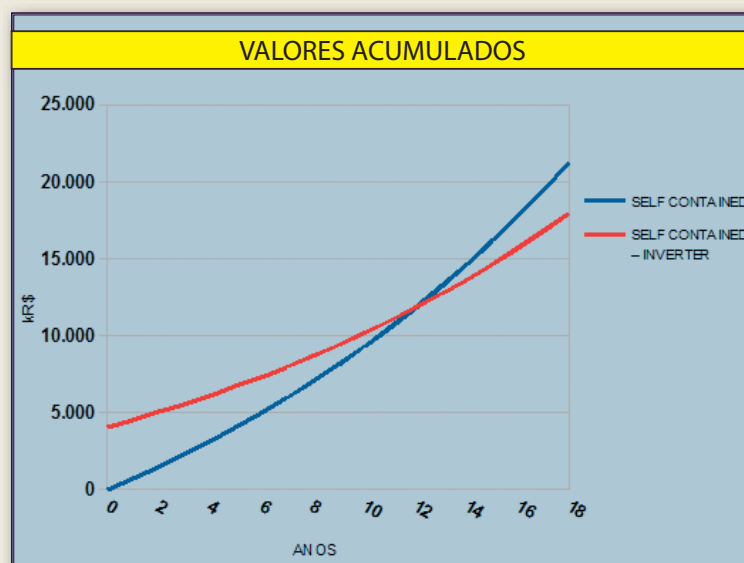


Figura 4 - Avaliação técnica e econômica dos sistema de ar condicionado.

5. CONCLUSÃO

O inter-relacionamento entre a Engenharia e Arquitetura é fundamental para definir conceitos multidisciplinares, desde a concepção do projeto, de forma a reduzir a carga térmica da edificação e a necessidade do uso de sistemas de condicionamento de ar.

O perfil de consumo de energia elétrica nos prédios públicos brasileiros apontam os sistemas de ar condicionado como responsáveis por 48 % de todo o consumo da edificação. Desta forma, a climatização é o principal alvo para alcançar uma melhor eficiência energética nas edificações da Marinha do Brasil.

Assim, foi analisado o consumo energético em uma instalação terrestre da Marinha do Brasil através da especificação de equipamentos de ar condicionado mais eficientes, porém mantendo-se a estratégia de climatização atualmente instalada, para em seguida comparar tais equipamentos novos com os atualmente instalados.

Foi possível demonstrar que um mesmo sistema de ar condicionado, para a mesma aplicação, apresenta menor custo relativo ao consumo de energia elétrica apenas por especificar um conceito distinto: utilização de compressores do tipo *inverter*. O consumo dos novos equipamentos seria 55% do consumo dos equipamentos atuais, proporcionando, para a edificação do estudo de caso, uma redução anual de R\$ 257.647,10.

Uma eventual substituição dos equipamentos atuais por novos traria um retorno de investimento teórico em 12 anos. Porém, para tal substituição geral seria necessário um novo projeto, que demandaria recursos de pessoal e material para a sua execução, intervenções na edificação e os custos logísticos não contemplados neste estudo.

Por fim, é válido realizar um estudo para avaliar a implementação de outras soluções para o sistema central de ar condicionado do EBL como, por exemplo, um sistema central de água gelada e um sistema de volume de refrigerante variável (VRV).

6. BIBLIOGRAFIA

- OAIR-CONDITIONING, HEATING & REFRIGERATION INSTITUTE. *Standard for Absorption Water Chilling and Water Heating Packages*: AHRI Standard. 560-2000. Arlington, 2000. 32 p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários*. Rio de Janeiro, 2008.

- DE SOUZA, M. C. da S. A.; HRUSCHKA, P. R. A.; GONÇALVES, A. P. R. H. *Desenvolvimento sustentável e responsabilidade social*. Revista FSA, Teresina, v. 11, n.2, art. 8, p. 148-159, 2014.

- DE SOUZA, Welder Boeno. *Comparação entre dois sistemas de ar condicionado para um prédio histórico*. 2010. 21 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

- GRUPO LIGHT. Tarifas de baixa tensão: Junho de 2014. Disponível em: <<http://www.light.com.br>>. Acesso em: 01 de jun. 2014.

- MAYNART, Rafael. *Eficiência energética em prédios públicos é tema de ciclo de palestras*. Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico. 2013. Disponível em: <<http://www.seplande.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/eficiencia-energetica-e-tema-de-ciclo-de-palestras>>. Acessado em: 21 de abr. 2014.

