



XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo - 10 a 13 de setembro de 2019

ESTUDO DA VIABILIDADE PARA ADAPTAÇÃO/SUBSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO CONVENCIONAL DE GRANDE PORTE POR VRV

MARIANE DE LACERDA CATTANEO; ANGELO RONCALLI OLIVEIRA GUERRA; CLEITON RUBENS FORMIGA BARBOSA ; WILLIAM FERNANDES DE QUEIROZ; CAMILA SALES DAMASCENO;

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo o estudo da viabilidade para adaptação e substituição de um sistema de climatização convencional de grande porte por VRV (vazão de refrigerante variável) ou VRF (Variable Refrigerant Flow). A avaliação foi feita no prédio da Escola de Ciências e Tecnologia (ECT) na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em que o sistema de climatização atual será substituído pelo VRV e serão aproveitadas as instalações elétricas. O trabalho busca avaliar a eficiência do sistema de climatização VRV comparado ao convencional e projetar um melhor aproveitamento do sistema já instalado, buscando também economia de material e posteriormente de energia. Além disso, foi avaliado o local de colocação das máquinas condensadoras, já que os pesos são diferentes das máquinas de climatização convencionais. Nesta proposta são adotadas as mesmas cargas térmicas internas e taxas de infiltração e foi incluída a renovação de ar. Por fim, os resultados mostram que a substituição gera uma significativa redução do consumo de energia elétrica, pela melhor distribuição da carga térmica, além de um alto controle operacional das máquinas.

Palavras-chave: Climatização. VRV. Ar-condicionado. Eficiência Energética.

ABSTRACT

The present paper aims to study the feasibility of adapting and replacing a large conventional air conditioning system with VRF (Variable Refrigerant Flow). The evaluation was made in the building of the School of Sciences and Technology (SST) at the Federal University of Rio Grande do Norte, where the current climate system will be replaced by VRF and the electrical installations will be used. The work seeks to evaluate the efficiency of the VRF air conditioning system compared to conventional and design a better use of the already installed system, also looking for material savings and later energy saving. In addition, the location of the condensing machines was evaluated, since the weights are different from conventional air conditioning machines. In this proposal the same internal thermal loads and infiltration rates are adopted and air renewal was included. Finally, the results show that the substitution generates a significant reduction of the electric energy consumption, the better distribution of the thermal load, besides a high operational control of the machines.

Keywords: Climatization. VRF. Air conditioning. Energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética é uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia junto com a sustentabilidade. A busca por equipamentos mais eficientes se dá para obter economia de energia, e o uso consciente da energia elétrica, além da redução de despesas, reduz também impactos ambientais. Além disso, a eficiência energética muitas vezes melhora a qualidade e conforto do ambiente e contribui para maiores rendimentos no processo produtivo. Através da incorporação de novas tecnologias e conceitos visando o aumento da vida útil e eficiência energética e operacional, o avanço tecnológico tem proporcionado equipamentos cada vez mais eficientes e o conceito de eficiência energética passou a ser prioridade. Segundo GELLER (1992), o principal benefício do aumento da eficiência energética é a redução de custos. Em geral, tais medidas envolvem a substituição de equipamentos menos eficientes por outros de maior eficiência.

Já que a tecnologia de refrigeração está em constante evolução e aprimoramento, gerando melhor eficiência energética, para acompanhar ao passar dos anos, substituem-se os equipamentos. Então, quando necessário, visto o melhoramento e a precisão de troca de equipamentos ou revisão de projetos de climatização, quando possível uma economia de energia significativa, deve-se avaliar a troca e atualização do sistema de refrigeração. No caso do prédio da ECT, a substituição do sistema de refrigeração convencional pelo sistema VRV, adequa-se por ser um prédio grande e será analisada a viabilidade da troca. A substituição é feita até mesmo pelo conforto térmico com equipamentos de alta eficiência. Hoje, com apenas alguns anos, os equipamentos já estão defasados e ultrapassados e os novos possuem tecnologias superiores e possuem um melhor rendimento aos sistemas anteriores instalados.

O avanço tecnológico junto a tecnologia de automação aumentou o consumo de energia elétrica em edificações com o passar dos anos. A utilização de computadores e outros equipamentos antes inexistentes aumenta a energia térmica interna e conseqüentemente aumenta o consumo do sistema de climatização. Sabendo que o consumo de energia elétrica no edifício se baseia em iluminação, ar condicionado e outros equipamentos eletrônicos ligados à rede e as variáveis que influenciam no consumo de energia são a localização do prédio em que inclui temperatura, latitude, umidade, ventos, a finalidade e o desempenho do ar condicionado, é preciso avaliar o rendimento energético dos equipamentos, assim buscar novas soluções e sistemas que são apresentados ao mercado de climatização.

Segundo a NBR 15575 (2013) retrofit consiste na remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética. Então, Retrofit é o processo de modernização, revitalização e atualização das construções incorporando tecnologias e materiais de qualidade avançada. Para Rebelatto (2004), o projeto de investimento leva em consideração, entre

outros elementos, o desempenho do equipamento ou sistema, a durabilidade e necessidade de manutenção e, principalmente, o consumo de energia elétrica.

Além da melhora da eficiência, junto ao conforto térmico, há também a qualidade do ar. Segundo o Ministério do meio ambiente, estudos epidemiológicos têm demonstrado correlações entre a exposição aos poluentes atmosféricos e os efeitos de morbidade e mortalidade, causadas por problemas respiratórios (asma, bronquite, enfisema pulmonar e câncer de pulmão) e cardiovasculares, mesmo quando as concentrações dos poluentes na atmosfera não ultrapassam os padrões de qualidade do ar vigentes. Isso indica a importância de se ter um ar filtrado e limpo. Desta forma o sistema de ar condicionado deve garantir condições de temperatura, velocidade do ar e umidade relativa que satisfaçam o conforto térmico e não permitam proliferação de fungos, mofo, vírus e bactérias. Para isto é preciso ter renovação de ar e filtros adequados.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Conforto térmico

Segundo ASHRAE (1997), conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa. O estudo do conforto térmico tem como objetivo a determinação das condições ambientais de modo a atender simultaneamente o maior numero de pessoas no recinto, SILVA (2004).

FANGER (1970) diz que é possível dividir os fatores que afeta a sensação do conforto térmico em variáveis individuais e ambientais. As principais variáveis individuais são o tipo de atividade e o vestuário. Já as principais variáveis ambientais são: temperatura de bulbo seco do ar, temperatura média radiante, velocidade relativa do ar e umidade relativa do ar. A transferência de calor pelo corpo pode ser de quatro maneiras distintas: evaporação, radiação, convecção e condução. SILVA (2004).

Segundo estudos de Fagner, a equação do conforto térmico deve satisfazer a ocorrência do balanço térmico, a taxa de suor, a temperatura media da pele dentro dos valores limites e não deve existir desconforto térmico local, causado por turbulência das correntes de ar, diferenças de temperaturas ao longo do corpo, contato com superfícies quente ou frias ou por assimetria elevadas das temperaturas vizinhas, SILVA (2004). Tais condições de conforto térmico são fixadas na NBR6401 da ABNT.

O conforto térmico faz com que as pessoas se sintam mais confortáveis e, conseqüentemente, produzam mais e fiquem mais dispostas, tanto para estudar, trabalhar e até mesmo comprar. Além disso, a qualidade do ar também está dentro do conforto térmico, o que significa saúde e bem-estar, tanto em relação a mofo, fungos e microrganismos quanto a alergias, dores de cabeça, dentre vários outros problemas respiratórios e de saúde.

2.2 Refrigeração

Segundo MILLER (2014), a refrigeração é o processo de remoção de calor de onde ele não é desejado. O calor é removido dos alimentos para preservar suas qualidades e sabor, ou é removido do ar de uma sala para propiciar condições de conforto a seus ocupantes. Durante o processo de refrigeração, o calor não desejado é transferido mecanicamente para um local em que ele não seja prejudicial. A substância chamada de fluido refrigerante é fundamental para a transferência de calor em um equipamento de refrigeração. Em termos práticos, um fluido refrigerante comercial é qualquer substância que evapore e vaporize a temperaturas relativamente baixas. Durante a evaporação ou vaporização, o refrigerante absorve o calor.

Para refrigerar se utiliza de ciclos termodinâmicos ou ciclos de refrigerações, dentre eles estão o Ciclo de compressão de vapor, Ciclo de absorção de vapor, Ciclo de gás e Ciclo Stirling.

No ciclo de compressão de vapor é utilizado o fluido refrigerante retirando calor de um meio enquanto se vaporiza a baixa pressão. Já no ciclo de absorção de vapor, os vapores de alguns fluidos refrigerantes conhecidos são absorvidos por certos líquidos ou soluções salinas, SILVA (2004). O ciclo de gás consiste num ciclo de refrigeração que utiliza um gás que é comprimido e expandido, mas que não muda de fase. Já o ciclo Stirling é realizado mediante o início e a manutenção de condições estáveis de uma oscilação cíclica do fluido utilizado, CAMPANHOLA (2014).

2.3 Sistema VRV

Os equipamentos de climatização VRV formam um sistema central *multi-split*, que modula a vazão de fluido de refrigeração pelo uso de um compressor com velocidade variável e também com o auxílio de componentes eletrônicos presentes em cada unidade evaporadora. Seu sistema permite o uso simultâneo de diferentes unidades evaporadoras conectadas a uma unidade condensadora central (DUARTE, 2014). Assim, possuem o controle de conforto individualizado e um alto coeficiente de desempenho na condição de carga parcial em comparação com outros sistemas de condicionamento de ar central.

Cada unidade interna acoplada ao sistema envia um sinal indicando a posição do motor de passo da válvula de expansão e um sinal da temperatura do ar de retorno para o circuito de comando do sistema de condicionamento de ar VRF. A partir dessas informações, o circuito de comando calcula a vazão de refrigerante necessária para atender a carga térmica de cada unidade interna, considerando sua curva de desempenho e condições de operação, e atua sobre a abertura do motor de passo de cada válvula de expansão. A frequência a ser imposta ao motor do compressor também é calculada. O algoritmo define o diferencial de pressão que corresponde à menor temperatura programada entre as unidades internas e a temperatura de condensação, considerando a primeira Lei da Termodinâmica (POZZA, 2011).

2.4 Prédio da ECT UFRN

A Escola de Ciências & Tecnologia (EC&T) (Figura 1) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) é localizada em Natal/RN e foi criada em dezembro de 2008. O edifício possui aproximadamente 7.000 m², dividido em quatro pavimentos. Lá funciona todas as atividades acadêmicas referentes ao curso de Bacharelado em Ciências e Tecnologia. O sistema de climatização atual do edifício é o convencional de refrigeração, o edifício possui predominantemente ar condicionados do tipo *Multi-Split*.

Figura 1 - Prédio da ECT



Fonte: Aden Soares, 2018.

2.5 Renovação de ar

A qualidade do ar Interno é uma questão de saúde pública de tamanha relevância, que foi incorporada à Constituição da OMS (Organização Mundial da Saúde), que trata do direito que o ser humano tem a um ambiente saudável, incluindo-se aqui o direito de respirar um ar limpo.

Segundo a Portaria 3.523 é preciso garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja, no mínimo de 27 m³/h/pessoa. É necessária a existência de registro de ar no retorno e tomada de ar externo, para garantir a correta vazão de ar no sistema.

A RE-09 diz que é preciso estabelecer padrões referenciais de Qualidade do ar interior em ambientes climatizados, no que diz respeito a definição de valores máximos recomendáveis para a contaminação biológica, química e parâmetros físicos do ar interior. E no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas, a taxa de renovação do ar mínima será de 17 m³/h/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO₂ maior ou igual a 1.000 ppm.

2.6 Carga térmica

Segundo SILVA (2004), a carga térmica é determinada pela quantidade total de calores sensível e latente que devem ser retirados ou adicionados ao

ambiente climatizado, para que mantenham as condições desejadas de temperatura e umidade relativa. Os ganhos de calor podem ser provenientes de fontes externas ao espaço condicionado e provenientes dele próprio. Ou seja, representa a transferência de calor necessária para determinado ambiente, dependendo de suas características.

As características consideradas para a carga térmica são condução, infiltração de ar, iluminação, motores e equipamentos, pessoas, insolação e renovação de ar. Em relação a pessoas é levado em consideração o valor do equivalente metabólico (MET) para expressar a elevação do metabolismo em repouso, o método estima o gasto energético de cada atividade física.

Os materiais também estão inclusos no valor da carga térmica, sua densidade e características, assim como influenciam a configuração, disposição, formato do prédio e sua orientação geográfica. Os equipamentos que são fontes de geração de calor interna contribuem para a carga térmica, junto a disposição de janelas ou divisórias. E a finalidade do edifício relaciona-se com a carga térmica pelo tipo de ocupação que ocorrerá. O horário de funcionamento, a frequência e quantidade da ocupação, a atividade que será desempenhada ali, a taxa de renovação de ar necessária, KARASH (2006). Desta forma, todas estas características devem ser levadas em consideração no projeto de climatização.

3 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é a substituição de um sistema de climatização convencional por um com fluxo variável, VRV, aproveitando o máximo de instalações, elétricas, tubulações, drenos etc. A finalidade é aproveitar o que já tem e acrescentar a renovação de ar exigida, além da melhor distribuição das máquinas com relação ao peso das condensadoras na laje para o pavimento térreo. E com o propósito de uma significativa redução de energia junto a maior eficiência energética do sistema de climatização do prédio.

4 METODOLOGIA

É utilizada como base de projeto a mesma carga térmica do projeto de climatização atual (convencional) e é acrescentado o cálculo da renovação de ar exigida através das normas ABNT NBR 16401, NBR 6401 e a determinação do ministério da saúde, para isto foi utilizada uma planilha de cálculo do programa Microsoft Excel. Nas distribuições das máquinas condensadoras foi analisado o peso e dimensão para melhor se adequar ao caso. Por fim foi utilizado o software da Midea para VRV, em que se fez as simulações para as distancias e distribuição das máquinas, assim como as tubulações.

5 O SISTEMA ATUAL

No estudo de BEZERRA(2018), ele verificou que a climatização funciona durante 3118 horas por ano, sendo por 2415 horas em horário de fora de ponta e por 503 horas em horário de ponta; o consumo da climatização é de 1,05 GWh/ano; com isso, as despesas da instalação de refrigeração anuais, para esse edifício, de acordo com cada modalidade tarifária, são apresentadas na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Tabela 27 – Despesas referentes ao consumo de energia elétrica da instalação de climatização no edifício da ECT.

Modalidade tarifária	Despesa anual (R\$)
Horo sazonal azul	383.653,53
Branca	653.450,41
Convencional	625.805,00

Fonte: BEZERRA (2018)

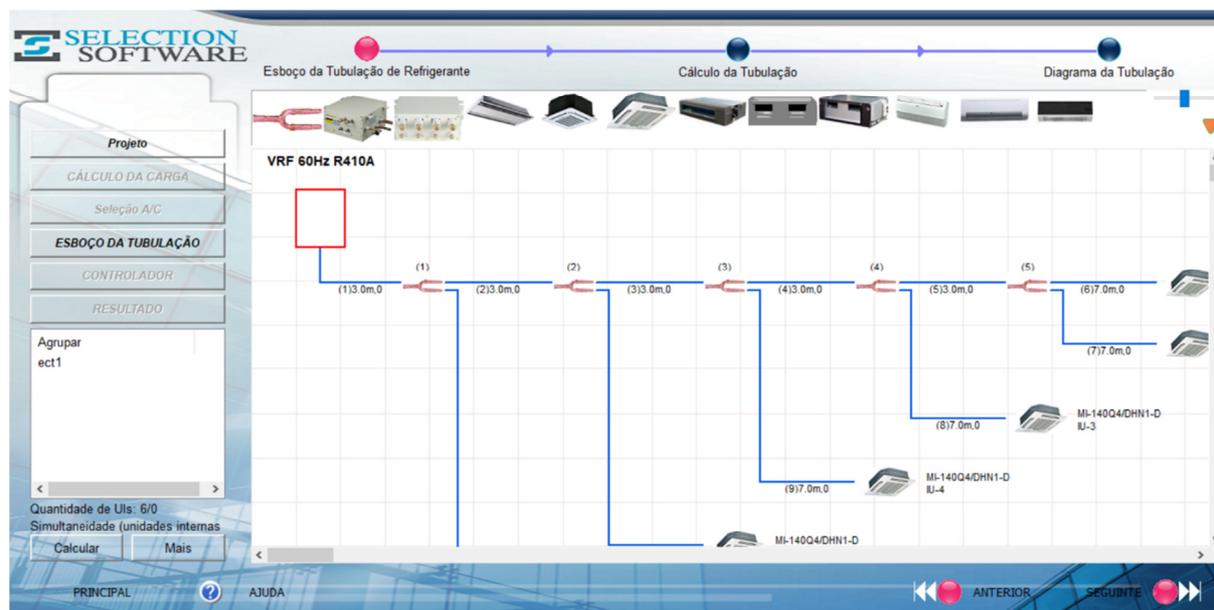
Segundo análises e estudo de BEZERRA(2018), o retorno de investimento é satisfatório, de modo que o sistema VRF garante o menor consumo de energia elétrica, conduzindo à compensação do investimento a ser aplicado, ainda que esse investimento inicial seja elevado sobre as demais tecnologias de climatização, porém, ao longo da sua vida útil, esse investimento é compensado. E não é somente a compensação financeira que o sistema VRF promove, como também ele induz a melhor distribuição do conforto térmico. A viabilidade econômica da substituição é possível de ser alcançada, na medida em que o *payback*, para o retorno do investimento, é inferior a cinco anos, mesmo considerando os vultosos investimentos iniciais do processo de substituição.

O prédio não possui renovação de ar, segundo a ABNT NBR 16401 (parte 3) se aplica aos sistemas novos ou a reformas de sistemas já existentes. Não tem efeito retroativo. Portanto, o projeto foi feito antes da norma entrar em vigor, já para o novo projeto é necessário e fundamental.

6 O PROJETO VRV

Os sistemas VRF oferecem diversas vantagens sobre as demais tecnologias de climatização, podendo destacar, entre outras vantagens, o menor espaço necessário para a instalação, pois as unidades condensadoras dos sistemas VRF necessitam de menos espaço, em comparação às tecnologias tipo *multi-split3* de expansão direta, que necessitam da instalação de uma grande quantidade dessas unidades condensadoras, e sistemas tipo *Chiller*, se for levada em consideração a capacidade térmica. Uma outra vantagem, dos sistemas VRF, em relação as demais tecnologias, é a possibilidade de ser instalado em módulos e expandir a sua capacidade, enquanto as demais tecnologias não permitem isso. Esse sistema apresenta outra vantagem, relacionada ao maior conforto ambiental, porque há a variação do fluxo refrigerante, fazendo com que a temperatura ambiental permaneça praticamente constante, conduzindo ao maior conforto térmico.

Figura 4 - Software para VRV



Fonte: Autores.

7 CONCLUSÃO

Foi comprovada a viabilidade da implantação do sistema VRV, aproveitando ao máximo as instalações elétricas e levando em consideração o conforto térmico e a qualidade do ar com a inclusão da renovação de ar, de maneira que há distribuição das condensadoras e um proveitoso controle operacional. E também, esta substituição gera uma economia de energia, como efeito de uma superior eficiência energética e, conseqüentemente, promove o desenvolvimento sustentável. Logo, a implantação de um sistema VRV na ECT é economicamente e tecnicamente viável, conduz às reduções das despesas de consumo de energia elétrica e traz o retorno do investimento, junto a maior conforto térmico e rendimento dos ocupantes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meus pais e meu irmão, por todo apoio e carinho. Ao meu namorado Luiz, pela compreensão. E ao Prof. Dr. Angelo Roncalli Oliveira Guerra pela orientação.

REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**, 1997. Atlanta, 1997.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT **ABNT NBR 15575**, Edificações Habitacionais. Desempenho, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT **ABNT NBR 6023** Informação e Documentação. Rio de Janeiro, 2002.

CONBRAVA 2019 – São Paulo Expo, 10 a 13 de Setembro de 2019 - São Paulo, Brasil

BEZERRA, Heitor Breno Silva. **Levantamento e Diagnóstico de Sistemas de Refrigeração Ambiental e Propostas de Melhoria de Eficiência para Edifícios do Campus Central da UFRN**. Natal, 2018.

CAMPANHOLA, Filipe Possatti. **Avaliação de sistemas de condicionamento de ar para salas de prédio público**. Panambi, 2014.

DUARTE, Vanessa Cavalcanti Paes. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO PARA UMA EDIFICAÇÃO COMERCIAL EM FLORIANÓPOLIS/ SC**. Florianópolis, 2014.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**, Copenhagen, Danish Technical Press, 1970.

GELLER, H. S. **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1992.

MILLER, Rex; MILLER, Mark R.. **Refrigeração e ar condicionado**, 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2014.

Ministério do meio ambiente, **Qualidade do ar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>.

PORTARIA GM/MS nº 3.523, de 28 de agosto de 1998.

POZZA, F. **Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo de refrigerante variável – VRF**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2011.

REBELATTO, D. A. DO N. **Projeto de Investimento: com estudo de caso completo na área de serviços**. Ed. Manoli, 2004.

Resolução – RE/ANVISA nº 9, de 16 de janeiro de 2003.

SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução à tecnologia da refrigeração e ar climatização**. São Paulo, 2003.

SOARES, Aden. **Estrutura Física**. Natal. Publicado: 22 novembro 2018. Disponível em: <<https://www.ect.ufrn.br>>.