



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Panambi

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR PARA
SALAS DE PRÉDIO PÚBLICO**

CAMPANHOLA, Filipe P.¹

MICHELS, Ademar²

MARTINS, Geomar M.³

RESUMO

Este trabalho faz uma avaliação dos sistemas de condicionamento de ar para as salas de um andar do prédio da administração central (Reitoria) da Universidade Federal de Santa Maria. Foi realizado um levantamento dos equipamentos instalados, o cálculo da carga térmica necessária e, através um estudo dos possíveis sistemas a serem instalados, realizada a seleção do sistema que melhor atende as características do edifício e de desempenho energético. Realizada a escolha do sistema VRF (Sistema de Vazão de Refrigerante Variável) como melhor alternativa, foi realizado o dimensionamento do sistema e feita a relação dos equipamentos com o custo estimado de implantação. O sistema proposto

¹ Eng. Mecânico. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

² Dr. Eng. Mecânico. Professor Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

³ Dr. Eng. Eletricista. Professor Co-Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

demonstrou ser uma boa alternativa do ponto de vista energético, apresentando redução no consumo previsto de aproximadamente 30%, porém, do ponto de vista financeiro não demonstrou ser uma boa alternativa para o local, visto que os custos de instalação são elevados e o tempo de retorno é maior que a própria vida útil do sistema. A utilização do sistema VRF é mais adequada para instalações novas, servindo como alternativa aos sistemas mais tradicionais, porém substituir uma instalação em funcionamento por um sistema VRF a fim de reduzir os custos com energia não é uma alternativa economicamente viável.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Sistemas de Climatização, Ar Condicionado.

ABSTRACT

This paper assesses the air conditioning systems for rooms on one floor of the building of Central Administration (Rectory) of the Federal University of Santa Maria. A survey of the installed equipment has been conducted together with the calculation of the required heat load and through a study of the possible systems to be installed, selecting the system that best meets the building characteristics and energy performance. Held the choice of VRF system (Variable Refrigerant Flow System) as the best alternative, the list of equipment with the estimated cost of implementing the system design was done. The proposed system has proved to be a good alternative energy point of view, including reduction in the estimated consumption of approximately 30%, however, from economic point of view not found to be a good alternative for the building, as installation costs are high and the return time is greater than the life of the system itself. The use of the VRF system is more suitable for new installations, serving as an alternative to more traditional systems, but replacing an installation operating system for a VRF in order to reduce energy costs is not an economically viable alternative.

Key-words: Energy Efficiency, Climate Control Systems, Air Conditioning.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2014 (BEN 2014), no ano de 2013, o consumo de energia elétrica no setor público atingiu 41.300 GWh,

representando cerca de 8 % da energia elétrica total consumida no país.

Atualmente, a busca por uma melhor eficiência energética tem sido cada vez mais intensa, tanto pelo fato dos recursos energéticos cada vez mais escassos, quanto pelo custo elevado para o consumidor final. A construção civil possui um grande potencial de melhoria de eficiência, gerando grandes reduções de consumo com atitudes simples e, muitas vezes, baratas para o consumidor, gerando um bom retorno do valor investido.

Dentre os principais custos com energia elétrica nas edificações, podemos citar os custos com a climatização dos ambientes devido à busca crescente pelo conforto térmico dos ocupantes, tanto em edificações residenciais, como comerciais e públicas. Grass (2013) e Stein (2011), avaliam o grande potencial de melhoria dos sistemas de climatização em edificações.

A escolha de um melhor sistema de climatização, que mais se adéqua ao tipo e uso da edificação em que será utilizado, respeitando sempre as restrições construtivas da edificação em caso de uma edificação já construída, tem um papel muito importante para o aumento da eficiência do sistema. Araujo (2011) e Souza (2010), comparam sistemas de condicionamento de ar de diferentes tipos em busca de uma melhor eficiência.

Além desses fatores, é importante a escolha de equipamentos de alta eficiência e um cálculo preciso das necessidades para atender à carga térmica sem a instalação de capacidade acima da necessária. Os equipamentos de climatização estão cada vez mais modernos e com melhor eficiência energética, devido à procura e conscientização da população para o melhor aproveitamento na energia térmica e também ao desenvolvimento de novas tecnologias.

As construções antigas, mesmo com apenas alguns anos, já estão com os sistemas instalados ultrapassados, que possuem um rendimento muito inferior aos sistemas atuais. Podemos citar duas tecnologias recentes que aumentaram a eficiência da climatização de espaços pequenos nos últimos anos, os aparelhos split e a tecnologia *inverter* (que se trata da aplicação de inversor de frequência para variação de rotação).

A modernização do sistema de condicionamento de ar no prédio em questão pode trazer uma boa redução no consumo energético, sendo que existem muitos equipamentos antigos, do tipo janela, instalados e a carga térmica instalada em alguns espaços não está bem dimensionada para as reais necessidades.

Este trabalho consta de um estudo para seleção do melhor sistema de condicionamento de ar para o 8º andar do prédio da Administração Central (Reitoria) da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. A escolha destas salas para a realização deste trabalho se deu por ser um andar representativo do prédio, composto por diversas salas de escritórios, pela maior facilidade de instalação de um sistema de condicionamento onde as máquinas podem se encontrar no terraço do edifício e pelo fácil acesso ao local, podendo o sistema selecionado ser facilmente expandido para os demais andares do edifício com pequenas alterações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conforto Térmico

Conforto Térmico é o termo que denomina a sensação de bem-estar e satisfação do ser humano na sua percepção da temperatura do ambiente. A percepção de conforto é uma condição individual, podendo variar de pessoa para pessoa conforme a condição física, idade e nível de atividade. Stoecker (1985) define que o calor é produzido continuamente pelo corpo através do metabolismo e deve ser eliminado a fim de manter a temperatura interna do corpo constante. A temperatura é perdida pelo corpo através da convecção, radiação e evaporação. A geração de calor é influenciada pelos fatores fisiológicos, se destacando o nível de atividade. O controle da eliminação de calor pode ser realizado através dos fatores externos como o isolamento térmico (vestimenta), temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar. Como o conforto térmico depende de cada pessoa, ASHRAE (1993), define como de conforto térmico as condições em que no mínimo 80% das pessoas adultas presentes no local estejam se sentindo em condições adequadas. Para isso, a temperatura deve estar entre 20 e 26°C, temperatura de orvalho entre 2 e 17°C e velocidade média do ar até 0,25 m/s.

2.2 Refrigeração

ASHRAE (1993) define refrigeração como o processo de retirada de calor de um corpo em que se deseja reduzir ou controlar a temperatura, transferindo-o para outro ambiente onde esse calor não seja prejudicial. Basicamente é o processo de

controle de temperatura em um ambiente através da transferência do calor do ambiente feito mecanicamente através de um agente condutor. No caso dos sistemas de condicionamento de ar, o agente condutor de calor é o fluido refrigerante. A retirada do calor do ambiente é feita através de um ciclo termodinâmico ou ciclo de refrigeração. Basicamente, existem quatro diferentes ciclos de refrigeração que são o ciclo de compressão de vapor, ciclo de absorção de vapor, ciclo de gás e ciclo Stirling.

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais utilizado atualmente, tanto em equipamentos de pequeno porte para uso doméstico como em equipamentos frigoríficos industriais de grande porte. Nesse ciclo o fluido refrigerante entra no compressor na forma de vapor, onde sai na forma de vapor superaquecido com alta pressão. Após passa pelo condensador onde muda seu estado para líquido em alta pressão, cedendo calor para o ambiente. Seguindo para a válvula de expansão onde sua pressão é reduzida e logo após para o evaporador onde volta ao estado gasoso retirando calor do ambiente. Por fim, retorna o vapor ao compressor, completando seu ciclo.

O ciclo por absorção de vapor é pouco usado atualmente. Este ciclo é semelhante ao de compressão, porém o compressor é substituído por um absorvedor que dissolve o refrigerante num líquido adequado, uma bomba que faz subir a pressão do líquido e por um gerador que, com adição de calor, afasta o vapor refrigerante do líquido a alta pressão. O trabalho necessário da bomba é muito inferior ao necessário no ciclo de compressão, porém é necessária uma fonte externa de calor.

O ciclo de gás consiste num ciclo de refrigeração que utiliza um gás que é comprimido e expandido, mas que não muda de fase. O fluido mais utilizado é o ar. Como não existe condensação e evaporação num ciclo de gás, os componentes correspondentes ao condensador e ao evaporador num ciclo de compressão de vapor são os permutadores de calor de gás quente para gás frio. Esse ciclo possui rendimento muito inferior ao rendimento do ciclo de compressão de vapor, limitando sua utilização

Já o ciclo Stirling é realizado mediante o início e a manutenção de condições estáveis de uma oscilação cíclica do fluido utilizado, de modo que, numa região definida do dispositivo que gera o ciclo, o fluido esteja em expansão e em seguida, resfriado e em outra região esteja em compressão e em seguida aquecido.

A parte aquecida produz calor e a parte arrefecida extrai o calor do ambiente exterior, provocando assim o efeito frigorífico.

2.3 Climatização

A climatização é o meio com que podemos fazer com que os ocupantes de determinado espaço atinjam as condições de conforto térmico proporcionado dispensa da atuação do sistema de termorregulação do corpo humano, livrando-o, portanto, de uma carga extra. Silva (2004) explica que em ambientes fechados é necessário proporcionar as condições de conforto a fim de gerar satisfação dos ocupantes, aumentando assim sua produtividade e bem-estar.

Com o passar dos anos, diversos sistemas foram criados para a realização da climatização dos ambientes, com grande evolução na parte do controle das condições locais, aumento de vida útil e, principalmente, aumento na eficiência dos equipamentos.

Dentre os principais sistemas de condicionamento de ar, podemos destacar os aparelhos tipo Janela, Split, Self Contained, Sistemas de Água Gelada e Sistemas VRF.

2.3.1 Sistema de Condicionamento de Ar tipo Janela

É um sistema de expansão direta com condensação a ar acoplado usado em ambiente de zona única. O nome se deve ao fato de sua instalação ocorrer diretamente na parede, com a serpentina evaporadora voltada para o interior do ambiente e a condensadora para o exterior. Tem capacidades de resfriamento geralmente entre 0,5 e 3,0 TR (1,75 e 10,5 kW). Também podem ser usados nas épocas frias, por reversão de ciclo, com o condensador operando como evaporador, funcionando como bomba de calor. O sistema pode possuir ou não renovação de ar, com tomada de ar exterior. Como vantagens do sistema pode-se citar a facilidade de instalação e manutenção, regulação individual para o ambiente e baixo custo em locais pequenos. Com desvantagens o sistema traz a pequena capacidade, alto nível de ruído, alteração das fachadas e baixa eficiência energética.

2.3.2 Sistema de Condicionamento de Ar tipo Split

É um sistema de expansão direta com condensação a ar ou remoto. A

capacidade desses equipamentos geralmente estão entre 0,5 e 5 TR (1,75 e 17,5 kW). No sistema Split, o evaporador é conectado por tubulações de cobre ou alumínio aos sistemas de compressão e de condensação localizados externamente ao ambiente climatizado. Atualmente, esse sistema é o mais utilizado em edificações residenciais. Assim como os aparelhos tipo janela, esse sistema também pode funcionar com circuito reverso, funcionando como bomba de calor. Suas principais vantagens são o baixo nível de ruído, custo de aquisição e instalação relativamente baixos, possibilidade de relocação do equipamento e regulação individual por ambiente. Como desvantagens não possui renovação de ar, necessitam de procedimentos de vácuo e carga de gás na instalação e, apesar de serem mais econômicos que os aparelhos tipo janela, possuem elevado consumo energético. Recentemente, uma nova tecnologia vem sendo aplicada a esses aparelhos a fim de torná-los mais eficientes, a tecnologia inverter que se trata da utilização de um inversor de frequência no sistema, fazendo com que a rotação do compressor seja regulada conforme sua utilização. Existem algumas variações desse sistema, que são os multi split, onde uma única unidade condensadora é utilizada para um número maior de unidades evaporadoras (geralmente até 4 unidades internas), o split modular ou “splitão” que é um aparelho de grande porte, geralmente acima de 5 TR, onde o ar frio é insuflado nos ambientes a serem climatizados através de dutos de insuflamento, funcionando como um sistema central, e o sistema VRF que, devido a sua importância para este trabalho, será abordado em um item específico.

2.3.3 Sistema de Condicionamento de Ar tipo Self-Contained

É um sistema de expansão direta com condensação a ar ou a água. Tem capacidade de resfriamento geralmente entre 5 e 30 TR (17,5 e 105 kW). O sistema Self-contained com condensador a ar acoplado utiliza ventilador centrífugo para movimentar o ar entre as aletas do condensador e para retirar o calor do fluido refrigerante. Os condicionadores Self-contained podem ser instalados diretamente no local a receber condicionamento porém, geralmente são instalados em uma casa de máquinas e o insuflamento do ar é realizado através de dutos para os ambientes a serem climatizados. Os sistemas com condensação a água necessitam de uma torre de resfriamento para que a água utilizada para condensar o fluido refrigerante tenha sua temperatura reduzida e retorne para a unidade condensadora, funcionando em um ciclo fechado. Como vantagens esse sistema possui maior

eficiência que os equipamentos de pequeno porte, facilidade de instalação em comparação com outros sistemas centrais, produção seriada com bom desenvolvimento técnico e baixa manutenção. Já suas desvantagens são o alto nível de ruído e normalmente não podem operar como bomba de calor, sendo normalmente instalados em conjunto com um banco de resistência quando o aquecimento é necessário.

2.3.4. Sistema de Condicionamento de Ar tipo Água Gelada

É um sistema de expansão indireta com condensação a ar ou a água. Tem grande capacidade de resfriamento (Chillers de até 300 TR ou 1050 kW). O sistema é composto principalmente por duas partes, que são o Chiller e o Fan Coil. O Chiller é o equipamento responsável por produzir a água gelada que será utilizada para a refrigeração dos ambientes, ou seja, nada mais é que a unidade evaporadora do sistema em que a água troca calor com o fluido refrigerante, diminuindo sua temperatura. A condensação do fluido refrigerante pode ser a ar ou a água, nesse caso sendo necessária ainda uma torre de arrefecimento para a água, como visto no sistema anterior. A água gelada produzida pelo Chiller é bombeada através de bombas de recalque até as unidades Fan Coil. Essas unidades são compostas por um ventilador e serpentina, de onde vem seu nome, assim, o ar que passa através da serpentina é resfriado e usado para climatizar o ambiente. As unidades Fan Coil podem ser instaladas diretamente no ambiente a ser climatizado ou em casa de máquinas, tendo o ar insuflado nos ambientes através de dutos. Atualmente já existem equipamentos com ciclo reverso, podendo o Chiller gerar também a água quente, promovendo o aquecimento do ambiente porém, geralmente, o aquecimento ainda é realizado através de resistências de aquecimento ou de água quente fornecida por boilers, onde existam caldeiras de geração de vapor instaladas. Possui como vantagens a facilidade de instalação em grandes construções, uma vez que a ligação é realizada através de tubulação de água entre a central e os equipamentos, ao invés de dutos e também o pequeno espaço interno utilizado, pois apenas as unidades Fan Coil ficam no interior da edificação. Como desvantagens possui o alto custo dos equipamentos, mão de obra bem especializada para instalação e manutenção, dificuldade na regulação da temperatura por ambiente e eficiência alta apenas em uma pequena faixa de utilização, não possuindo muita flexibilidade.

2.3.5 Sistema de Condicionamento de Ar tipo VRF

O nome VRF é uma sigla que representa *Variable Refrigerant Flow* (Volume de Refrigerante Variável). O VRF é classificado como um sistema central em que um conjunto de unidades de tratamento de ar de expansão direta, geralmente instaladas dentro do ambiente a serem climatizados, cada uma controlada e operada independentemente das demais, é suprido em fluido refrigerante líquido em vazão variável por uma unidade condensadora central, instalada externamente. Esse sistema é semelhante ao split convencional, pois ambos possuem expansão direta e contam com unidade condensadora e evaporadora. Porém são sistemas que possuem limitações bem diferentes. Enquanto o VRF pode possuir várias unidades evaporadoras conectadas a uma condensadora, o split trabalha com uma unidade condensadora para cada unidade evaporadora. Atualmente, esse sistema é considerado o mais avançado sistema de climatização existente, sendo que o mesmo existe há mais de 20 anos, porém sua utilização vem ganhando grande campo no mercado nos últimos anos, com as melhorias na tecnologia do equipamento, tornando o mesmo cada vez mais eficiente e com valor mais competitivo no mercado.

Nesse sistema, a unidade condensadora geralmente é instalada na cobertura do edifício a que vai atender, ou em uma casa de máquinas fora do edifício, dependendo das condições do local. A unidade condensadora possui um compressor do tipo scroll de grande capacidade, ligado através do uso de um inversor de frequência, que faz com que o volume de refrigerante comprimido varie conforme a demanda das unidades internas. O fluido refrigerante é ligado às unidades internas através de tubulação, geralmente de cobre, onde a tubulação principal ganha ramificações até atingir todas as unidades internas. Um esquema desse tipo de sistema pode ser visualizado na Figura 1. O desnível (variação de altura) entre a unidade externa e as unidades internas pode atingir até 100 m e o número de unidades internas pode ser de até 64, dependendo sempre da capacidade e do fabricante dos equipamentos.

As vantagens desse sistema são a facilidade de instalação e manutenção se comparado ao sistema de água gelada, alta eficiência energética e grande flexibilidade de trabalho, podendo trabalhar com a unidade condensadora geralmente entre 5% e 100%, variando conforme fornecedor, tendo como recomendação o uso entre 20% e 90%. Possui regulagem de temperatura individual

através de controle remoto em cada ambiente, podendo operar com diversos tipos de unidades internas (cassete, piso-teto, hi wall). Além de possuir baixo nível de ruído, não necessitar de grandes intervenções civis na edificação e geralmente se adaptar bem às condições arquitetônicas do ambiente.

Como desvantagens pode-se citar o custo mais elevado, não possuir renovação de ar e caso haja problema na condensadora, todas as unidades internas param de funcionar e sua capacidade e eficiência diminuem conforme a distância entre as unidades internas e a unidade externa.

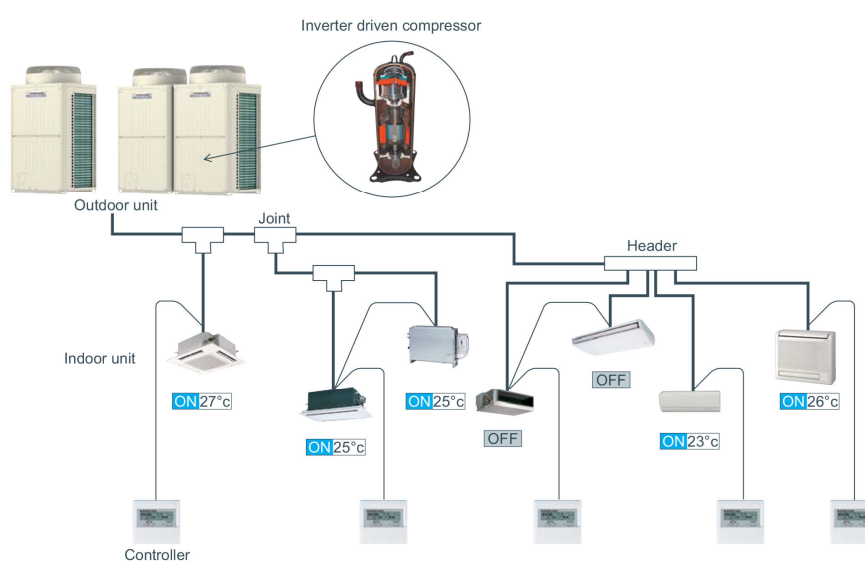


Figura 1: Esquema de Sistema VRF. Fonte: Mitsubishi Eletric (2014).

O Quadro 1 apresenta, de maneira resumida, os principais sistemas de condicionamento de ar existentes no mercado e suas principais características.

Quadro 1: Sistemas de Climatização.

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Janela	Expansão direta para zona única	- Fácil instalação e manutenção - Controle individual - Baixo custo	- Pequena capacidade - Ruído elevado - Alteração de fachadas - Baixa eficiência
Split	Expansão direta para zona única com unidade dividida	- Baixo ruído - Controle individual - Baixo custo	- Não possui renovação - Necessidade de vácuo e carga de gás na instalação - Baixa eficiência em relação aos centrais
Self Contained	Expansão direta tipo central	- Melhor eficiência que sistemas unitários - Produção seriada - Facilidade de instalação em comparação com os sistemas centrais	- Elevado ruído - Normalmente não operam como bomba de calor - Difícil regulagem por zonas
Água Gelada	Expansão indireta tipo central	- Facilidade de instalação em grandes edificações - Pequeno espaço interno usado	- Elevado custo - Necessidade de mão de obra especializada para instalação e manutenção - Difícil regulagem por zonas
VRF	Expansão direta tipo central com unidades internas individuais	- Alta eficiência - Grande flexibilidade - Facilidade de regulagem individual por ambiente - Baixo ruído - Baixas intervenções civis na construção	- Custo elevado - Não possui renovação de ar - Caso a unidade externa apresenta problema, todo o sistema para de operar

2.4 Prédio da Administração Central da UFSM

O prédio da Reitoria da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 2) se localiza no campus da UFSM, no bairro Camobi, em Santa Maria/RS.

O prédio possui 10 (dez) pavimentos onde estão alocados os principais setores administrativos da UFSM como o Gabinete do Reitor e Pró Reitorias. Para este trabalho foi realizada uma análise do 8º andar, onde estão localizadas a Pró Reitoria de Administração e a de Infraestrutura. A escolha se justifica pelo andar estar dividido em diversas salas de pequeno tamanho com características de utilização de escritórios, todas possuindo janelas para renovação de ar.



Figura 2: Reitoria da UFSM. Fonte: Acervo UFSM.

2.5 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é o método utilizado para transferir para o momento presente dos os valores gerados com determinado investimento ou empréstimo, transferindo todo fluxo de caixa do projeto para o momento atual, considerando assim o fator tempo no investimento que influencia o valor final devido às taxas de juros. Ou seja, o VPL traz todos os valores futuros do fluxo de caixa para a data zero, descontando a taxa mínima de atratividade estipulada, a fim de analisar se um investimento é ou não viável.

O VPL é dado pela seguinte expressão:

$$VPL = - I + A \cdot FVP(i, n)$$

Onde:

I = Investimento inicial.

A = Parcela de retorno

FVP (i, n) é o Fator de Valor Presente, obtido por:

$$FVP(i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

Onde:

i = Taxa mínima de atratividade

n = Número de períodos.

3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo, apresentando uma alternativa de condicionamento de ar ser instalado em salas de escritórios do prédio da administração central da UFSM, atendendo aos requisitos do ambiente, e comparar com o atual sistema instalado.

3.1 Objetivo geral

Selecionar um sistema de condicionamento de ar como alternativa e realizar a comparação com o sistema atual para as salas do prédio do 8º andar da Reitoria da Universidade Federal de Santa Maria.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamento dos equipamentos instalados;
- Selecionar um sistema alternativo para a climatização dos ambientes;
- Realizar cálculo da carga térmica para o local;
- Selecionar os equipamentos conforme carga térmica necessária;
- Comparar o sistema proposto com o sistema atual;
- Calcular a viabilidade econômica da alteração.

4 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica envolvendo os principais sistemas de climatização existentes no mercado, observando as vantagens e desvantagens de cada sistema, a fim de possuir uma base para a escolha do melhor sistema a ser proposto como alternativa ao sistema atual instalado na edificação.

O levantamento de dados do sistema atual se deu através de visitas ao local, verificando o tipo de equipamento instalado em cada sala e levantando os dados dos mesmos em pesquisas nos sites dos fabricantes, caso não seja possível adquiri-los durante a visita.

A escolha do sistema proposto como alternativa foi norteada obedecendo as necessidades da edificação e observando as vantagens e desvantagens de cada sistema pesquisado, optando-se assim pelo sistema que melhor se adéqua à utilização proposta nesse trabalho.

Os cálculos da carga térmica de cada ambiente foram realizados com o uso de uma planilha de cálculo simplificada desenvolvida de acordo com os parâmetros da norma ABNT NBR 16401:2008 e com o código ASHRAE, permitindo um cálculo rápido e preciso para cada ambiente.

Após, foi realizada a seleção dos equipamentos contemplados pela proposta através da consulta de catálogos de fornecedores. Com base nos catálogos, foi calculado o consumo de energia requerido pelo sistema proposto, podendo assim ser mensurada a economia gerada e a viabilidade econômica da alteração do sistema antigo para o proposto.

4.1 Sistema Atual

O sistema atualmente implantado na Reitoria da UFSM é composto por equipamento do tipo Janela e do tipo Split, sendo que nas salas da fachada oeste não existe a possibilidade da implantação de equipamento do tipo Split devido à arquitetura do prédio que contém brises móveis em sua fachada. A distância entre a parede e os brises é pequena, impossibilitando que a unidade externa (unidade condensadora) seja instalada neste lado da edificação, ficando esse lado restrito aos equipamentos do tipo Janela. Já na lateral leste do edifício, existem equipamentos tipo Janela, porém os mesmos estão sendo substituídos por equipamentos do tipo Split, existindo ainda os dois tipos de equipamentos.

A Figura 3 apresenta uma planta baixa do pavimento em estudo, com a localização de todas as salas, já o Quadro 2 apresenta uma planilha com os equipamentos instalados em cada sala e suas características principais.

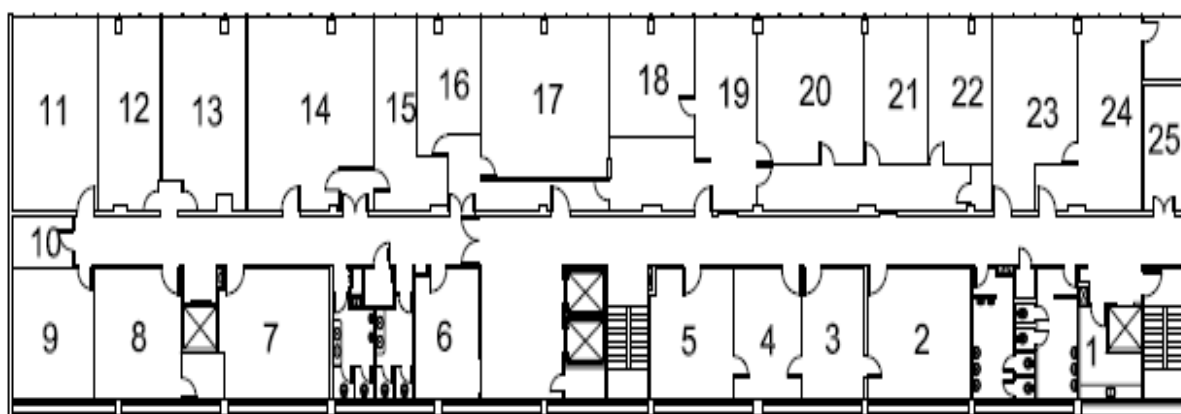


Figura 3: Planta baixa do 8º andar da Reitoria da UFSM.

Quadro 2: Equipamentos Instalados e suas Características.

Sala	Ocupação	Ap. Instalado	Capac. (BTU/h)	Potência (kW)	COP
1	Cozinha	Não se aplica			
2	Pró Reitor Adm.	Janela	18000	1,78	2,96
3	Recepção PRA	Janela	7500	0,75	2,92
4	Sala PRA	Janela	12000	1,14	3,08
5	Sala PRA	Janela	18000	1,78	2,96
6	Copa	Não se aplica			
7	Engenharia	Janela	18000	1,78	2,96
8	Engenharia	Janela	18000	1,78	2,96
9	Engenharia	Janela	18000	1,78	2,96
10	Depósito	Não se aplica			
11	Plantas	Split	24000	2,5	2,81
12	NPI	Janela	18000	1,78	2,96
13	Engenharia	Janela	18000	1,78	2,96
14	Arquitetura	Janela	18000	1,78	2,96
		Split	18000	1,75	3,01
15	Sala Reuniões	Janela	18000	1,78	2,96
16	Coord. Obras	Janela	18000	1,78	2,96
17	Sec. Obras	Janela	30000	3,15	2,79
		Janela	18000	1,78	2,96
18	Pró Reitor Infra.	Split	22000	2,01	3,21
19	Recepção PROINFRA	Split	18000	1,53	3,45
20	Sec. Serv. Gerais	Janela	30000	3,15	2,79
		Janela	18000	1,78	2,96
21	Coord. Serv. Gerais	Janela	18000	1,78	2,96
22	Contratos	Janela	18000	1,78	2,96
23	Coord. Ens. Méd. e Téc.	Janela	30000	3,15	2,79
24	Coord. Ens. Méd. e Téc.	Janela	18000	1,78	2,96
25	Depósito	Não se aplica			
Total		24 Unid.	461500	45,83	2,95

Resumindo os dados na planilha, temos um total de 24 (vinte e quatro) aparelhos instalados, sendo 20 (vinte) do tipo Janela e 04 (quatro) do tipo Split, com uma capacidade total de 461500 BTU/h e potência total instalada de 45,83 kW, resultando um COP (Coeficiente de Performance) global de 2,95.

4.2 Sistema Proposto

Para realizar a seleção do sistema proposto, deve-se levar em consideração as características particulares de cada sistema, suas vantagens e desvantagens e as características próprias da edificação e de utilização às quais o sistema de climatização está atendendo.

A utilização de equipamento do tipo Split de pequeno porte, com maior eficiência, utilizando a tecnologia Inverter, seria uma alternativa ao sistema atual, sem grandes impactos na instalação e com baixo custo de implantação, porém, como já visto anteriormente, a fachada oeste do edifício impossibilita a instalação

desse tipo de equipamento, devido aos brises externos que servem como proteção da radiação solar. Como alternativa, as unidades externas poderiam ser colocadas na cobertura, mas esta alteração provoca grande queda de rendimento dos equipamentos e aumento dos custos, devido às tubulações de cobre de grandes dimensões e limitação dos fabricantes que possuem equipamentos que atendam a estes requisitos de instalação, tornando inviável esta solução.

O sistema Self-Contained poderia ser implantado no local, visto que a edificação possui um pé direito alto, com espaço para instalação de rede de dutos acima do forro. Porém, não existe espaço para a passagem dos dutos entre andares, sendo necessário que a sala de máquinas fique no próprio andar a ser climatizado. Esta instalação ocuparia o espaço de uma sala atualmente utilizada, para futura expansão para outros pavimentos, cada pavimento teria uma sala retirada, ocasionando uma série de transtornos e ocupação de espaços considerados nobres por estarem dentro do principal prédio administrativo da UFSM. Outra limitação desse sistema é que o mesmo não pode ser regulado individualmente por ambiente, não atendendo às condições de conforto de todos os usuários.

O sistema de água gelada é uma boa alternativa para o local, sendo que um chiller com condensação a ar poderia ser instalado na cobertura da edificação e as unidades internas em cada sala, com controle individual por ambiente. Suas limitações são a baixa flexibilidade do sistema, não tendo alto rendimento em uma ampla faixa de utilizações, o que deve acontecer com o sistema, visto que a ocupação e horários de trabalho são variados, e a dificuldade para expandir o sistema para outros pavimentos, pois seria necessária a troca de chiller e bombas a fim de melhor eficiência do sistema e reduzir o peso alocado na cobertura da edificação.

Por fim, o sistema VRF atende melhor às necessidades do local. Esse sistema possui as mesmas vantagens do sistema de água gelada quanto a alocação dos equipamentos, sendo as unidades internas instaladas em cada ambiente, ligadas através de tubulação de cobre a uma unidade externa instalada na cobertura da edificação. O controle em cada ambiente é ainda mais preciso por se tratar de uma unidade de expansão direta, tendo o mesmo controle que um equipamento Split simples, inclusive com utilização de controle remoto individual. Além disso, o sistema possui boa flexibilidade, podendo operar em condições de utilização de 5% até

100% da capacidade da unidade externa, com rendimento alto em uma ampla faixa, geralmente tendo seu maior rendimento na faixa de 80% da capacidade. Quando à expansão do sistema para utilização em outros pavimentos, o sistema não possui peso muito elevado e nem grande variação de rendimento quanto a capacidade, podendo-se instalar uma nova unidade condensadora para cada pavimento sem realizar nenhuma alteração no equipamento existente. Sua única limitação ainda é o custo um pouco mais elevado que os demais equipamentos.

Realizando um comparativo entre todos os equipamentos e levando em consideração as características da edificação, suas limitações e as características de utilização do sistema de condicionamento de ar, foi selecionado o sistema VRF como melhor alternativa ao sistema atualmente implantado. O que deve ser reforçado é que não existe um melhor sistema de condicionamento de ar, o que existe é um sistema que melhor atenda as características do local e de sua utilização, sendo que cada um dos sistemas estudados possui suas aplicações, por esse motivo, todos ainda são fornecidos e possuem ampla utilização.

4.3 Cálculo da Carga Térmica

O cálculo da carga térmica deve ser realizado para cada sala a ser climatizada. A edificação em estudo já possui equipamentos instalados em todas as salas, porém muitos deles foram instalados sem a realização de um cálculo térmico ou foram realizadas alterações no local no decorrer do tempo, como alterações no tamanho da sala através de divisórias leves ou alterações em sua utilização, principalmente no número de usuários e equipamentos no local. Devido a essas alterações, foi realizado um novo cálculo de carga térmica a fim de melhor dimensionar o sistema proposto.

Para o sistema do tipo VRF é realizado o cálculo de carga térmica de cada ambiente, individualmente, a partir de onde é feita a seleção das unidades internas que serão instaladas nos ambientes. Já a unidade externa deve ter potência igual ou superior a soma das cargas de cada ambiente, podendo em casos extremos, ser até um pouco inferior a soma das potências das unidades internas, vistos que as mesmas nunca devem entrar em operação com a máxima capacidade simultaneamente, pois a carga térmica não será a máxima simultaneamente em todas as salas. Esse fato torna-se claro pela orientação solar, enquanto a fachada leste tem maior carga térmica por irradiação solar no final da manhã, a fachada

oeste tem no período da tarde. Seguindo esses parâmetros, a unidade externa deve trabalhar durante um período razoável do dia com a carga em torno de 80% de sua capacidade, onde se localiza sua faixa de maior eficiência.

Como visto anteriormente na lista de equipamentos instalados no sistema atual, o pavimento possui 21 (vinte e um) ambientes que devem possuir climatização (os banheiros, cozinhas, áreas de serviço e saguão não serão climatizados).

Os cálculos foram realizados com o auxílio de uma planilha simplificada baseada na norma NBR 16401 e no código ASHRAE que foi desenvolvida na Pró Reitoria de Infraestrutura para os cálculos de condicionamento de ar em salas da UFSM e adaptada para este trabalho.

O Quadro 3 mostra o resumo da carga térmica calculada para cada ambiente, a partir das quais se deu a seleção dos equipamentos conforme catálogo de fornecedores.

Quadro 3: Carga Térmica por Ambiente.

Sala	Ocupação	Carga (BTU/h)	Capac. (BTU/h)	Capac. (kW)
2	Pró Reitor Adm.	18923	19124	5,6
3	Recepção PRA	10457	12294	3,6
4	Sala PRA	10231	12294	3,6
5	Sala PRA	12814	15367	4,5
7	Engenharia	16683	19124	5,6
8	Engenharia	13784	15367	4,5
9	Engenharia	13570	15367	4,5
11	Plantas	19888	24246	7,1
12	NPI	13936	15367	4,5
13	Engenharia	15925	19124	5,6
14	Arquitetura	25624	15367	4,5
			15367	4,5
15	Sala Reuniões	15845	19124	5,6
16	Coord. Obras	15253	15367	4,5
17	Sec. Obras	34880	19124	5,6
			19124	5,6
18	Pró Reitor Infra.	18923	19124	5,6
19	Recepção PROINFRA	16332	19124	5,6
20	Sec. Serv. Gerais	29429	15367	4,5
			15367	4,5
21	Coord. Serv. Gerais	14108	15367	4,5
22	Contratos	13357	15367	4,5
23	Coord. Ens. Méd. e Téc.	23915	24246	7,1
24	Coord. Ens. Méd. e Téc.	16201	19124	5,6
Total		370080	414233	121,3

4.4 Seleção de Equipamentos

Realizado o levantamento da carga térmica por ambiente a ser climatizado e realizada a discriminação das capacidades das unidades internas conforme as capacidades comerciais oferecidas no mercado, realizou-se a seleção dos equipamentos a serem utilizados no sistema.

Todas as salas do edifício possuem forro com espaço entre o mesmo e a laje entre os andares, podendo assim serem instalados equipamentos do tipo cassete embutidos no teto. Porém, devido às maiores intervenções civis necessárias para a instalação desse tipo de equipamento e ao custo mais elevado do mesmo, a opção mais adequada para o sistema é a utilização de unidades internas do tipo hi wall, obedecendo as condições de desempenho requisitadas e sendo satisfatórias nas questões arquitetônicas, visto que seria realizada uma padronização das unidades.

Para a realização do trabalho, foram utilizados como parâmetro os dados de desempenho dos equipamentos da linha Midea MDV4 Plus que possuem um desempenho satisfatório e custo não muito elevado, tendo grande disponibilidade no mercado e facilidade de assistência técnica. A Figura 4 representa as unidades internas e externas do equipamento. A escolha do melhor equipamento para a aplicação deve ser realizada criteriosamente, de acordo com seus dados de desempenho, durabilidade, assistência técnica, custos, entre outros, não fazendo parte do escopo desse trabalho, sendo que a linha apresentada é utilizada apenas como referência para o estudo.



Figura 4: Equipamentos Seleccionados

Conforme os cálculos realizados, representados pelos dados apresentados

no quadro 3, a carga térmica total dos ambientes é de 414233 BTU/h. Assim pode ser realizada a seleção das unidades externas com base no catálogo do fabricante. São oferecidas opções de unidades externas de 8HP, 10HP, 12HP, 14HP e 16HP para este sistema, com capacidades de refrigeração variando entre 86000 e 153500 BTU/h. Para atender à capacidade calculada, a combinação mais eficiente conforme dados do fornecedor é a utilização de 02 (duas) unidades de 10HP com capacidade de refrigeração de 95500 BTU/h cada e 2 (duas) unidade de 12HP com capacidade de 114300 BTU/h. A capacidade total das unidades externas é de 419600 BTU/h ou 122,9 kW de refrigeração, atendendo a todas as unidades internas do ambiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho contemplam a lista básica dos equipamentos a serem instalados no sistema, com suas principais características e custos levantados, as considerações energéticas e ganhos de eficiência com a implantação do sistema e uma análise de viabilidade de instalação do sistema como alternativa ao sistema atualmente utilizado. Vale destacar que o objetivo do trabalho não é um projeto detalhado do sistema a ser implantado e sim uma análise comparativa da viabilidade de sua implantação.

5.1 Composição do Sistema

Além das unidades internas e externas, o sistema é composto por diversos acessórios sem os quais o mesmo não pode operar. A interligação das unidades externas e internas é realizada através de tubulação de cobre, contendo todos os seus acessórios como válvulas, conexões e derivações, impactando no custo do sistema. As unidades internas são todas comandadas através de um controle remoto individual, assim como nas unidades split, a fim de propiciar mais conforto aos usuários do ambiente climatizado. O sistema como um todo também possui um sistema de controle central, o qual pode ser ligado a um computador para realizar o levantamento dos dados de desempenho e eficiência do mesmo, propiciando um maior controle e podendo ser utilizado para ações localizadas visando a redução do consumo energético e aumento de vida útil dos equipamentos.

Para fins de análise financeira do sistema, foi realizado orçamentos dos

principais itens do sistema com fornecedor local de equipamentos. No que inclui a tubulação de cobre e mão de obra de instalação, não foi realizada orçamentação dos mesmos, visto que é necessário um projeto detalhado que contemple os comprimentos finais das tubulações, traçados detalhados e intervenções civis necessárias para a instalação do sistema. O projeto detalhado não faz parte do escopo deste trabalho, sendo os custos da tubulação de cobre e instalações estimados.

O Quadro 4 apresenta os principais itens do sistema proposto, assim como a estimativa de custos da implantação do mesmo.

Quadro 4: Resumo do Sistema Proposto.

Descrição	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Unidade externa 10 HP	2	24550,00	49100,00
Unidade externa 12 HP	2	27350,00	54700,00
Unidade interna hi wall tipo S 3,6kW	2	1880,00	3760,00
Unidade interna hi wall tipo S 4,5kW	11	1950,00	21450,00
Unidade interna hi wall tipo S 5,6kW	9	2010,00	18090,00
Unidade interna hi wall tipo R3 7,1kW	2	2440,00	4880,00
Controlador unidades externas	1	500,00	500,00
Controlador unidades internas	1	800,00	800,00
Tubulação de cobre e instalação	1	30000,00	30000,00
Total			183280,00

5.2 Análise Energética

A análise de viabilidade de implantação do sistema proposto passa inicialmente pela análise energética do sistema, visando levantar os dados de eficiência do sistema proposto e compará-los com o sistema atual, levantando assim a alteração na potência instalada do sistema, a economia de energia e a mudança na eficiência energética do sistema, que pode ser demonstrada através do coeficiente de performance (COP).

O sistema atual possui uma capacidade instalada de 461500 BTU/h, ou 135,1 kW, com potência instalada de 45,83 kW, resultando um coeficiente de performance de 2,95. Apesar da elevada capacidade instalada, a mesma é mal distribuída e existem aparelhos antigos que já não possuem o desempenho nominal devido ao estado de funcionamento.

Para o levantamento do consumo mensal dos equipamentos, foi estimado

um tempo de utilização de 4 (quatro) horas diárias devido as suas condições de utilização e a ocupação dos ambientes que são ocupados no período diurno, onde se localizam os picos de calor, geralmente entre as 7:00 e as 17:00 horas. Na edificação em questão, a utilização ocorre apenas em dias úteis, ou seja, 21 dias por mês para fins de cálculo, assim tem-se uma utilização aproximada de 84 horas mensais dos equipamentos.

Com base na potência instalada e no tempo médio de utilização, chega-se ao seguinte consumo para o sistema atual:

$$\text{Consumo} = P \text{ (kW)} \times t \text{ (h/mês)} = 45,83 \text{ kW} \times 84 \text{ h/mês} = 3850 \text{ kWh/mês}$$

O sistema proposto possui capacidade de refrigeração de 414200 BTU/h, ou 121,3 kW, com uma potência de 32,5 kW, o que resulta um coeficiente de performance igual a 3,73. Seguindo os mesmos parâmetros de consumo para o sistema proposto, encontra-se o seguinte valor para o consumo do sistema:

$$\text{Consumo} = P \text{ (kW)} \times t \text{ (h/mês)} = 32,50 \text{ kW} \times 84 \text{ h/mês} = 2730 \text{ kWh/mês}$$

Comparando os dois sistemas, tem-se um aumento do coeficiente de performance (COP) de 2,95 para 3,73, ou seja, um acréscimo de 26,4% na eficiência do sistema proposto em relação ao sistema atual. Esse aumento de eficiência é resultado das características técnicas dos equipamentos propostos e suas tecnologias que visam melhor desempenho.

Quando comparados os dados de consumo, observa-se uma redução de 1120 kWh/mês, de 3850 kWh/mês para 2730 kWh/mês, resultando em uma redução de 29,1% no consumo de energia para sistema proposto. A redução do consumo maior que o próprio ganho de eficiência do sistema se deve ao redimensionamento do sistema, adequando-se os equipamentos às cargas térmicas de cada ambiente.

Com base nos dados apresentados, aumento de 26,4% na eficiência do sistema e redução de 29,1% no consumo energético, pode-se concluir que a implantação do sistema proposto é tecnicamente viável.

5.3 Análise Financeira

A realização de um estudo de viabilidade econômica é importante para que a implantação do sistema seja justificada perante a administração e aprovada para que seja realizada sua aquisição e instalação. Perante a administração pública, a lei

geral de licitações, Lei 8666/93, coloca como um dos princípios básicos promover o desenvolvimento sustentável, mesmo este acarretando em custos mais altos para a administração, desde que corretamente justificado.

Para a realização da análise financeira do sistema, considera-se uma vida útil de 25 anos. A economia gerada no consumo, como calculada no item anterior, é de 1120 kWh mensais e o custo de instalação estimado para o sistema foi de R\$ 183.280,00. Visto que o custo da energia elétrica para a instituição é de R\$ 0,35/kWh, tem-se:

$$\text{Economia} = 1120 \text{ kWh/mês} \times \text{R\$ } 0,35/\text{kWh} = \text{R\$ } 392,00/\text{mês} = \text{R\$ } 4704,00/\text{ano}$$

Para análise de investimento, foi realizado o cálculo do valor presente líquido (VPL), considerando o tempo de 25 anos (vida útil estimada do equipamento) e uma taxa mínima de atratividade de 8 por cento ao ano (8% a.a.). Assim, tem-se:

$$\text{VPL} = - \text{R\$ } 183.280,00 + \text{R\$ } 4704,00 \times \text{FVP} (8\%,25) = - \text{R\$ } 133.065,85$$

Com o VPL resultando em um valor negativo, torna-se desnecessária qualquer outra análise financeira, visto que o sistema proposto tem sua implantação inviável, não retornando o investimento realizado.

Conclui-se que a substituição do sistema instalado por um sistema central, mesmo com grandes ganhos de eficiência, não se torna viável financeiramente devido aos elevados custos do sistema do tipo VRF. O valor deste sistema é aproximadamente 3,5 vezes o valor de um sistema split convencional, sendo assim, sua instalação fica inviável quando comparada a este tipo de sistema.

6 OBSERVAÇÕES FINAIS

O sistema VRF ainda possui elevados custos em nosso país, pois se trata de uma tecnologia nova que vem tomando mercado recentemente. Com o aumento de sua utilização, os custos de produção devem baixar, deixando o sistema mais competitivo e tornando uma das melhores alternativas para sistemas do tipo central, assim como ocorre principalmente em países da Europa e Ásia, onde o sistema é mais utilizado e ocupa boa parcela do mercado.

Este estudo traz resultados específicos para as condições descritas e o

local analisado, respeitando que cada aplicação possui suas particularidades e o resultado não pode ser expandido para outros locais sem análise detalhada das condições dos ambientes envolvidos e das condições de utilização dos mesmos.

7 REFERÊNCIAS

ARAUJO, A. M. P. C. **Modernização de Sistemas de Climatização de Andares de Edifício Comercial Antigo no Rio de Janeiro com Base no Conforto Térmico dos Ocupantes**. Universidade Católica de Petrópolis – UCP. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

ASHRAE. **Air-Conditioning Systems Design Manual**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1993.

ASHRAE. **HVAC Systems and Equipment**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Special Edition. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citação em documentos. Rio de Janeiro, 2002b. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401/2008**: Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Partes 1, 2 e 3.

BRASIL. **Lei 8666/1993**. Lei Geral das Licitações. Presidência da República.

FRANÇA, Júnia Lessa et al. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 6. ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: UFMG, 2003. 230 p.

GRASS, J. C. S. **Eficiência de Sistemas de Ar Condicionado em um Prédio Residencial**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2013.

Portal da Refrigeração. **Sistema VRF de Ar Condicionado**. Disponível em: <http://www.arcondicionado.refrigeracao.net/ar-condicionado-com-sistema-vrf-estao-aumentando-participacao-no-mercado/>, Acesso em 20 de outubro de 2014.

SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. 1 ed. São Paulo. Artliber, 2004.

SOUZA, W. B. **Comparação entre Dois Sistemas de Ar Condicionado para Prédio Histórico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto

Alegre, RS. 2010.

STEIN, T. S. **Impacto das Soluções de Arquitetura e Climatização no Consumo de Energia de uma Edificação.** XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Metalúrgica e Industrial. Porto Alegre, RS. 2011.

STOECKER, Wilbert F. et al. **Refrigeração e Ar Condicionado.** Ed. McGraw-Hill. 1995.