



**Primeiro – Tenente (EN) Vinicius de Lima Gomez**  
Ajudante da Seção de Instalações Mecânicas.

Graduado em Engenharia Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ). Curso de Extensão em Engenharia do Ar Condicionado - Instituto Militar de Engenharia (IME).



**Primeiro – Tenente (EN) Christovam Leal Chaves**  
Ajudante da Seção de Instalações Mecânicas.

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Aluno do Curso de Extensão em Engenharia do Ar Condicionado - Instituto Militar de Engenharia (IME).

## OS PRINCIPAIS SISTEMAS DE AR CONDICIONADO: VANTAGENS, DESVANTAGENS E APLICAÇÕES

### 1- INTRODUÇÃO

A importância da climatização de ambientes cresceu de tal modo que surgiram novas soluções em termos de sistemas e equipamentos, com tecnologias cada vez mais específicas e variadas. Essa evolução também gerou um desafio para os engenheiros que atuam na área de ar condicionado: especificar qual estratégia de climatização é mais adequada para as características da planta, definindo o tipo de sistema a ser empregado, associando fatores como o atendimento aos requisitos normativos atuais, a eficiência energética, o custo inicial e a interface com outras instalações.

O objetivo deste artigo é apresentar ao leitor uma descrição sucinta dos principais tipos de sistemas de ar condicionado presentes no mercado nacional e um estudo de caso, com os resultados verificados de dois diferentes sistemas aplicados em um mesmo projeto, além das devidas conclusões sobre o assunto.

### 2 - SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Todos os sistemas de ar condicionado baseiam-se na troca de calor do ar com um ciclo de refrigeração, que consiste em um conjunto de processos termodinâmicos em um determinado fluido refrigerante conforme descrito na Figura 1. São eles: evaporação (4-1), compressão (1-2), condensação (2-3) e expansão (3-4). A aplicação do ciclo de refrigeração é verificada em muitos outros equipamentos presentes no cotidiano como geladeiras, frigoríficos, aquecedores, etc.

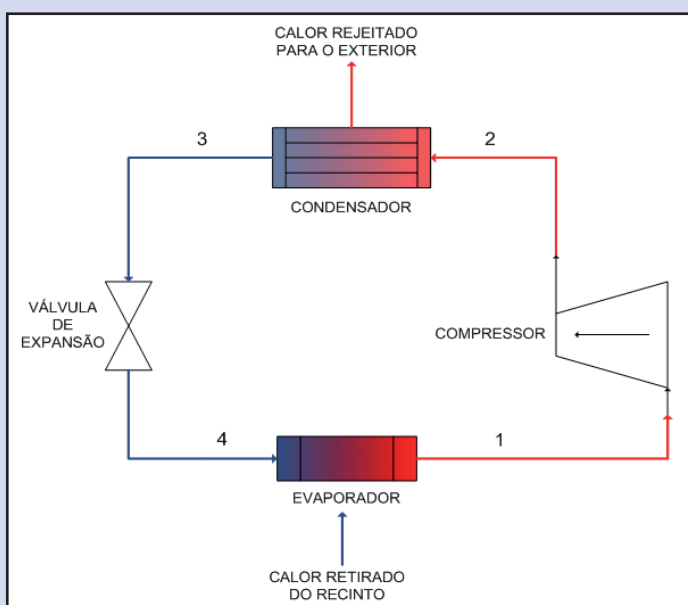


Figura 1 : Diagrama Básico do Ciclo de Refrigeração

O principal critério para a classificação do sistema de condicionamento de ar é quanto à forma em que se dá a troca de calor entre o ambiente e o circuito de refrigeração, podendo ser, desta forma, um sistema de expansão direta ou indireta:

#### 2.1 - Sistemas de Expansão Direta

São aqueles onde o ar do ambiente é resfriado diretamente pelo evaporador do sistema de refrigeração (DE BARROS, 2010). Os sistemas mais comuns são:

a) Aparelhos de Janela: Embora apresentem custo e nível de ruído reduzidos, são equipamentos com baixo grau de eficiência energética e filtragem do ar;

b) *Split* de Ambiente: Consistem basicamente de duas unidades separadas (interna e externa)

conectadas entre si por tubulações de gás refrigerante. A unidade interna possui um ventilador, filtro de ar, evaporador e dispositivo de expansão. É responsável pelo resfriamento e circulação do ar no ambiente. Na parte externa fica localizado o compressor, a serpentina do condensador e seu ventilador, e atua na rejeição do calor para o exterior;

c) *Self-contained*: São equipamentos robustos que apresentam diferentes configurações como condensador remoto ou incorporado, e condensação a ar ou à água, sendo esta última com aplicação de torres de resfriamento (Figura 2);



Figura 2 : Condicionador de ar tipo self-contained  
Fonte: Diretoria de Obras Civis da Marinha

d) *Split para Duto ("Splitão")*: Apresentam a mesma configuração dos split de menor porte, diferenciando-se destes pela capacidade de resfriamento, distribuição e filtragem do ar;

e) *Roof-top*: são equipamentos de gabinete único, próprios para instalações sobre lajes e coberturas, ideal para prédios onde não é possível a utilização de fachadas para instalação de unidades externas (Figura 3); e



Figura 3 : Condicionador de ar tipo "roof-top"

f) Sistema de Fluxo Variável (VRF): Os modelos citados até aqui possuem controle de temperatura através do acionamento e desligamento do compressor de acordo com a temperatura do ambiente, (controle *on-off*), que resulta em gasto excessivo de energia. O sistema de vazão variável do fluido refrigerante, conhecido pela sigla VRF de "*Variable Refrigerant Flow*", opera em carga parcial do compressor, apresentando duas vantagens: a eficiência energética e o atendimento individualizado por ambiente. Entretanto, assim como os *splits*, necessita de um sistema auxiliar de renovação de ar para atender às normas técnicas quanto à qualidade do ar (ver norma NBR ABNT 16401-3:2008) (Figura 4).

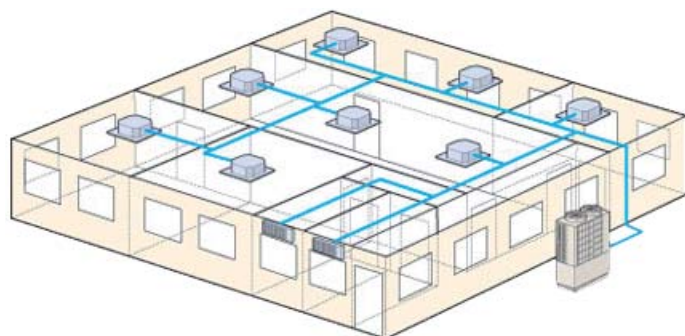


Figura 4 : Diagrama de instalação de um sistema VRF

Até os anos 90 o mercado brasileiro de aparelhos residenciais restringia-se aos aparelhos de janela, quando começaram a ser comercializados aparelhos *split* de menor capacidade. Por ter se tornado muito popular, o *split* é erroneamente adotado como solução sem nenhum estudo prévio. Isso ocorre no mercado devido à falta de profissionais especializados na área de condicionamento de ar, falta de integração entre os setores de Engenharia e Arquitetura e a mentalidade equivocada de que o menor preço inicial é a melhor opção a ser adotada.

## 2.2 - Sistemas de Expansão Indireta

São os sistemas onde o ar do ambiente é resfriado por um fluido intermediário, normalmente a água. Esse sistema conhecido como “Água Gelada”, é formado basicamente de duas unidades fundamentais e equipamentos auxiliares:

a) Unidade resfriadora de líquido ou *Chiller*: consiste de um trocador de calor responsável pelo resfriamento da água através do seu circuito de refrigeração (Figura 5). Nele está uma das principais vantagens deste sistema: a operação em cargas parciais, associada à variação da vazão de água, proporcionando um nível de eficiência superior aos equipamentos de expansão direta. Sua capacidade depende do tipo de compressor empregado (*scroll*, parafuso ou centrífugo) e do tipo de condensação, a ar ou à água (com utilização de torres de resfriamento);

b) Unidade condicionadora de ar ou *Fan-Coil*: consiste basicamente de gabinete composto de ventilador, filtro de ar e serpentina, onde a água gelada troca calor com o ar do ambiente climatizado. Possui grande variedade construtiva, podendo ser aplicado como um sistema central com rede de dutos ou como equipamentos individuais, conhecidos como fancoletes, semelhantes às unidades internas dos modelos *split*; e

c) Equipamentos auxiliares: os sistemas de água gelada variam em muitas combinações, mas são compostos basicamente de bombas para circulação da água gelada, torres de resfriamento e bombas para circulação de água de condensação (quando utilizados *chillers* de condensação à água) e válvulas para controle e balanceamento do sistema, além das tubulações de água.



Figura 5 : Unidade resfriadora de líquido ( Chiller)  
Fonte: Comando da Força de Superfície

Os sistemas de água gelada são atualmente a opção preferida dos especialistas para plantas de médio e grande porte. Muitos prédios comerciais que utilizavam equipamentos *self-contained* ou *split* para dutos, substituíram esse sistema para água gelada, alcançando maior eficiência energética e conforto térmico. Porém, cabem as seguintes considerações: são sistemas com muitos equipamentos, forçando maior investimento inicial e manutenção especializada.

A Tabela 1 sintetiza algumas informações sobre os principais sistemas:

Tabela 1: Sistemas de Ar Condicionado

Sistema	Custo inicial	Qualidade do ar *	Controle Individualizado	Eficiência Energética	Capacidade
Janela	Baixo	Baixa	Sim	Baixa	Até 30000 BTU/h
Mini-split	Baixo	Baixa	Sim	Baixa	Até 5 TR
Packages**	Médio	Alta	Não	Baixa / Média	2 - 50 TR
VRV	Alto	Baixa	Sim	Alta	2 – 50 TR
Água gelada	Alto	Alta	Somente unidades "fancolete"	Alta	20 – 5000 TR
Água gelada + VAV ***	Alto	Alta	Sim	Alta	20 – 5000 TR

\* Neste quesito avaliou-se a capacidade do sistema de empregar altos níveis de filtragem e renovação sem sistemas auxiliares.

\*\* Packages: Equipamentos Self Contained, Split de Alta Capacidade e Roof-top.

\*\*\* VAV – volume de ar variável – consiste em sistema com controle da vazão na rede de dutos através de registros automatizados, acompanhando a variação térmica de cada ambiente atendido por um fan-coil.

### 3 - ESTUDO DE CASO

Neste estudo de caso será avaliada uma instalação, na cidade do Rio de Janeiro, com 5 ambientes a serem climatizados e uma previsão de utilização de 12 horas por dia, 25 dias por mês. Em seguida, serão propostas duas opções de sistemas de condicionamento de ar:

- Splits* para dutos; e
- Sistema de água gelada, com *chiller* de condensação a ar.

A Tabela 2 mostra a distribuição de carga térmica dos ambientes da planta, considerando a pior situação durante o ano. Também apresenta a carga máxima simultânea, ou carga de bloco, que não deve ser confundida com soma das cargas individuais:

Tabela 2 - Distribuição de Ambientes

Ambiente	Denominação	Carga Térmica (TR)
Dept. Manutenção	Ambiente 01	28
Oficina	Ambiente 02	35
Dept. Médico	Ambiente 03	10
Paio	Ambiente 04	10
Escritório	Ambiente 05	15
	Carga Total	<b>98 TR</b>
	Carga Simultânea	<b>75 TR</b>

Considerando a carga térmica na tabela 1, elaborou-se a seleção de equipamentos para um sistema de água gelada. Para a seleção do *chiller*, deve ser considerada a carga térmica simultânea, uma vez que este equipamento atende toda a planta ao mesmo tempo. Para simulação do consumo será considerado *chiller* atuando com 100% da capacidade durante 1% do período analisado, e repectivamente: 75% para 42%, 50% para 45%, 25% para 12%, seguindo o parâmetro da norma ARI 550/590-2003.

Já as unidades *fan-coil* são selecionadas por ambiente. Também deve ser considerado o consumo referente as bombas que realizam a circulação da água gelada pelo sistema. A Tabela 3 apresenta os dados de consumo e o custo mensal obtidos.

Tabela 3 - Sistema de Água Gelada

Equipamento	Capacidade do Equipamento (TR)	Eficiência (kW/TR)	Custo Mensal de Energia (R\$/mês)**
Chiller	70	1,26*	R\$ 6.445,66
Fan-Coil - 01	30	0,12	R\$ 466,20
Fan-Coil - 02	35	0,12	R\$ 554,40
Fan-Coil - 03	10	0,15	R\$ 189,00
Fan-Coil - 04	10	0,15	R\$ 189,00
Fan-Coil - 05	15	0,15	R\$ 277,20
Bombas	70	0,092	R\$ 811,44
<b>Total</b>	-	-	<b>R\$ 8.932,90</b>

\* Fonte: Catálogo Técnico II Hitachi – *Chiller* Condensação a ar RCU15IAS – RCU15FAS.

\*\* Fonte: Light 2012 - Considerado um preço da tarifa não residencial 0,42 R\$/kWh, fora do horário de pico.

Para a seleção de aparelhos *split*, deve ser considerada a carga máxima de cada ambiente para a seleção do equipamento apropriado. Os dados de consumo de energia e o custo mensal da instalação são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Sistema com Splits

Equipamento	Capacidade do Equipamento (TR)	Eficiência (kW/TR)*	Custo Mensal de Energia (R\$/mês)**
Split - 01	30	1,09	R\$ 4.120,20
Split - 02	40	1,08	R\$ 5.443,20
Split - 03	10	1,18	R\$ 1.500,00
Split - 04	10	1,18	R\$ 1.500,00
Split - 05	15	1,19	R\$ 2.249,10
<b>Total</b>	-	-	<b>R\$ 14.812,50</b>

\* Fonte: Catálogo Hitachi Linha RVT/RTC e RUV/RUT.

\*\* Fonte: Light 2012 - Considerado um preço da tarifa não residencial 0,42 R\$/kWh, fora do horário de pico.

Comparando-se os valores, verificamos que o custo mensal de energia para o sistema de água gelada foi, aproximadamente, 40% menor.

A Figura 6 mostra uma previsão de retorno do investimento devido a economia de energia do sistema de água gelada. Nota-se que o custo inicial da instalação é recuperado em cerca de 2 anos.

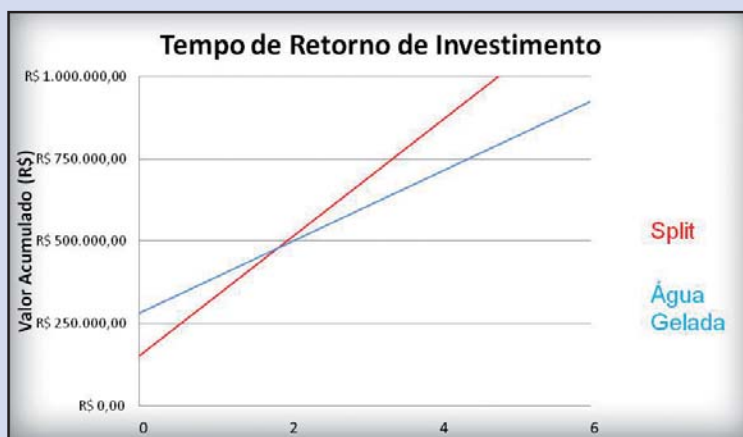


Figura 6 : Configuração do tempo de retorno de investimento

O objetivo desta análise foi apenas o de demonstrar a superioridade de um sistema sobre o outro em relação a eficiência energética.

Não foi considerada a variação diária da carga térmica, mostrada na Figura 7, que é administrada de modo diferente pelos sistemas analisados.

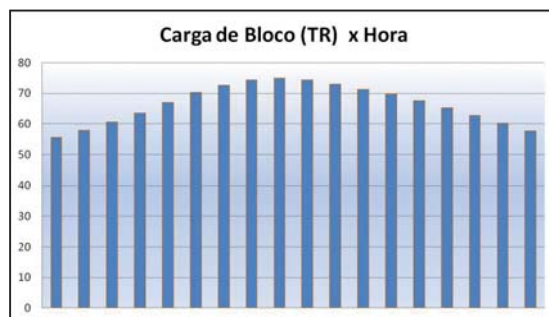


Figura 7 : Evolução da Carga Térmica ao longo do dia

O sistema de água gelada possui a possibilidade de acompanhar esta variação através da utilização de *chillers* com carga parcial (com modelos que podem trabalhar com até 5% da capacidade), e da variação da vazão da água gelada que circula pelo sistema.

#### 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da definição de um tipo de sistema adequado se reflete nos vários fatores citados neste artigo, mas deve-se ressaltar que não é o único parâmetro que define um sistema como eficiente e satisfatório para o usuário. Seguem abaixo alguns fatores importantes neste contexto:

- Distribuição e difusão do ar de modo eficiente;
- Utilização de elementos arquitetônicos como brises, isolamento térmico exterior, iluminação natural ou de baixo consumo, etc, que proporcionam redução da carga térmica;
- Utilização de elementos de automação aplicados ao sistema, como controle da demanda de renovação de ar, volume de ar variável, entre outros; e
- Análise das fontes de energia disponíveis, aplicadas às tecnologias de ar condicionado.

Outra importante observação é que não existe um “sistema perfeito”, até porque se assim fosse, não haveriam tantos tipos. O ideal é verificar qual sistema é o mais adequado às características do projeto, analisando o tamanho, a carga térmica e a finalidade da planta, entre outros fatores. E, assim como foi elaborado neste artigo, é sempre válida uma análise financeira.

#### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR16401:2008 – Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Rio de Janeiro, 2008
- Barros, Maurício de - Apostila de Sistemas de Ar Condicionado do 9º Curso de Extensão em Engenharia do Ar Condicionado – ministrado em 2010;
- Penna, Sérgio Meirelles – Manual de Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, 1ª edição – julho de 2002;
- Catálogo de equipamentos VRF modelos Mini-SMMS e SMMS-i da Toshiba; e
- Catálogo do Chiller modelo Inverter da Hitachi.