

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

LUÍS GUILHERME LOPES ALVES

**REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO: a importância da qualidade
do ar nos ambientes condicionados**

RIO DE JANEIRO
2014

LUÍS GUILHERME LOPES ALVES

**REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO: a importância da qualidade
do ar nos ambientes condicionados**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Msc. Luiz Otávio Ribeiro Carneiro.

**RIO DE JANEIRO
2014**

LUÍS GUILHERME LOPES ALVES

**REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO: a importância da qualidade
do ar nos ambientes condicionados**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Msc. Luiz Otávio Ribeiro Carneiro

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Primeiramente agradeço a Deus e dedico este trabalho à minha querida família que ao longo desses anos apoiou-me e entendeu a minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha mãe, Ana Maria Martins Lopes, que sempre me incentivou, e meu irmão Carlos Henrique que me ajudou sempre que necessário e nunca deixou de estar do meu lado.

Gostaria também de agradecer a minha companheira de jornada Claudia Valbonetti Rodrigues pela sua amizade por e carinho por tantos anos.

A minha querida amiga e madrinha Palmyra Martins Lopes, pelo amor, dedicação e paciência durante todos esses anos de trabalho. Obrigado por ter alegrado os meus dias e por ter transformado a minha vida.

Gostaria também de agradecer ao meu tio e grande amigo José Carlos Martins Lopes e sua família pelo seu suporte e ajuda sempre quando foi necessário.

Ao meu orientador Professor Msc Luiz Otavio por sua paciência e por sua disponibilidade e ajuda no trabalho.

E acima de tudo Deus que me deu saúde e disposição para me dedicar aos meus estudos.

No caráter, na conduta, no estilo, em todas as coisas, a simplicidade é a suprema virtude.

Henry Wadsworth Longfellow

No fim tudo dá certo, se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim.

Fernando Sabino

Assim que você confiar em si mesmo aprenderá a viver.

Johann Goethe

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.

Chico Xavier

RESUMO

Através deste instrumento de pesquisa monográfica venho apresentar uma visão da importância da climatização e do condicionamento do ar e do cuidado que devemos ter com a qualidade deste ar em ambientes fechados e as consequências que a negligência com este tema pode acarretar em relação a saúde dos usuários deste ambiente. No decorrer do trabalho aqui apresentado falaremos tecnicamente sobre refrigeração, seu histórico, importância para o crescimento da humanidade, definiremos os temas centrais da monografia além de traçarmos paralelos das aplicações a bordo de unidades marítimas dos conceitos aqui documentados. Falaremos também sobre legislação brasileira aplicada ao tema de qualidade do ar em ambientes condicionados e relataremos os fatores que levaram a confecção desta legislação e o devido cuidado que o tema está tendo na sociedade.

Palavras-chave: Refrigeração. Climatização. Qualidade do Ar. Saúde.

ABSTRACT

Through this instrument monographic research come to present an overview of the importance of air conditioning and air conditioning and care that we have with the quality of indoor air and the consequences of that negligence can lead to this issue regarding the health of users this environment. During the work presented here will talk technically about cooling, its history, importance to the growth of humanity, we define the central themes of the monograph plus trace parallel applications aboard offshore units of concepts documented here. We will also talk about Brazilian law applied to the issue of air quality in conditioned environments and we report the factors that led to the making of this legislation and due care that the issue is having on society.

Keywords: Refrigeration. Air Conditioning. Air Quality. Health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Extração de gelo na superfície congelada do rio <i>Hudson</i> (Estados Unidos, 1874)	14
Figura 2 -	Geladeira antiga para conservação de alimentos (1854)	15
Figura 3 -	Máquina de Refrigeração por compressão mecânica de vapor, idealizada por <i>Jakob Perkins</i> , conforme patente britânica número 6662 de 1834	18
Figura 4 -	Máquina de refrigeração por compressão mecânica de vapor, usando éter como refrigerante, idealizada por <i>James Harrison</i> e fabricada por <i>Daniel Siebe</i> em 1857	19
Figura 5 -	Esquema simplificado do sistema de refrigeração por compressão mecânica de vapor, mostrando os componentes principais	20
Figura 6 -	Máquina de Refrigeração por absorção de vapor de Ferdinand Carré	22
Figura 7 -	Esquema simplificado do sistema de refrigeração por absorção de amônia, mostrando seus componentes principais	23
Figura 8 -	Esquema do sistema de absorção de vapor para refrigerador doméstico	24
Figura 9 -	Esquema de absorção de vapor AguaLIBr usado em sistemas de ar condicionado de grande porte	25
Figura 10 -	Modelo de máquina de refrigeração por expansão construída por <i>John Gorrie</i> (Museu de <i>Apalachicola</i> , <i>Flórida</i> , Estados Unidos)	26
Figura 11 -	Esquema do ciclo aberto de refrigeração por expansão de ar	26
Figura 12 -	Sistema de refrigeração por expansão de ar usado em resfriamento de cabines de aeronaves	27
Figura 13 -	Esquema do sistema de refrigeração usando o princípio termelétrico	28

Figura 14 -	Esquema do sistema de refrigeração por ejeção de vapor	29
Figura 15 -	Típico Ciclo de Refrigeração de Vapor simples estágio	31
Figura 16 -	Ciclo Ideal fase de Evaporação	32
Figura 17 -	Ciclo Ideal fase de Compressão	32
Figura 18 -	Ciclo Ideal fase de Condensação	33
Figura 19 -	Ciclo Ideal fase de Expansão	33
Figura 20 -	Análise do Ciclo de Compressão a Vapor	34
Figura 21 -	Representação esquemática do ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor no diagrama de <i>Mollier</i>	35
Figura 22 -	Ciclo de compressão de vapor ideal no diagrama de <i>Mollier</i>	36
Figura 23 -	Ciclo ideal de compressão de vapor, diagrama T x s	37
Figura 24 -	Ciclo <u>real</u> de compressão de vapor, diagrama T x s	38
Figura 25 -	Diferenças entre os ciclos <u>ideal</u> e <u>real</u> de refrigeração por compressão de vapor no diagrama P versus h (<i>Mollier</i>)	38
Figura 26 -	Esquema de um sistema de zona térmica única e vazão de ar constante	40
Figura 27 -	Processos psicrométricos de um sistema típico para resfriamento de verão	41
Figura 28 -	Sistemas Vazão de Ar Constante com aquecimento terminal	43
Figura 29 -	Sistemas Vazão de Ar Constante com dois dutos e caixa de mistura	44
Figura 30 -	Sistema Vazão de Ar Variável para resfriamento	45
Figura 31 -	Sistema Vazão de Ar Variável para resfriamento modificado pela instalação de serpentinas de aquecimento terminal em cada zona	45

Figura 32 -	Esquema de um resfriador de água com trocadores de calor de casco-tubos e compressor centrífugo	46
Figura 33 -	A água gelada resfriada no evaporador bombeada por dentro dos tubos aletados da serpentina do <i>fan-coil</i>	47
Figura 34 -	Condicionadores de janela	49
Figura 35 -	Instalação de um condicionador de janela	50
Figura 36 -	Melhor posicionamento do condicionador de janela	50
Figura 37 -	Melhor posicionamento do condicionador de janela outra vista	51
Figura 38 -	Condicionador de gabinete	52
Figura 39 -	Condicionadores tipo <i>split-system</i>	53
Figura 40 -	Esquema de um sistema antigo de condicionamento de ar	55
Figura 41 -	Sistema de resfriamento de ar em que não há contato direto do ar resfriado com a superfície úmida do gelo	56
Figura 42 -	Esquema de um sistema básico de condicionamento de ar	59
Figura 43 -	As áreas de refrigeração e ar condicionado	59
Figura 44 -	Condição de vida da maioria das pessoas	67
Figura 45 -	Duto Sujo sem Manutenção A	83
Figura 46 -	Duto Sujo sem Manutenção B	83
Figura 47 -	Duto após a Higienização	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO	14
3	PRINCÍPIOS TERMODINÂMICOS DA REFRIGERAÇÃO	30
3.1	Ciclo de refrigeração padrão por compressão de vapor	30
3.2	Etapas de um ciclo ideal de refrigeração por compressão	31
3.3	Análise do ciclo de refrigeração por compressão de vapor	34
4	SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR	40
4.1	SISTEMA BÁSICO AR CONDICIONADO PARA CONFORTO	40
4.2	SISTEMAS MULTIZONAS	42
4.2.1	Sistemas VAC (Vazão de Ar Constante) com aquecimento terminal	42
4.2.2	Sistemas VAC (Vazão de Ar Constante) com dois dutos e caixa de mistura	43
4.2.3	Sistemas VAC (Vazão de Ar Variável)	44
4.3	Sistemas de água gelada	46
4.4	Sistemas unitários	47
4.4.1	Condicionadores de janela	48
4.4.2	Condicionadores de gabinete	51
4.4.3	Condicionadores tipo <i>Split-System</i>	52
5	CLIMATIZAÇÃO E CONDICIONAMENTO DO AR	54
6	QUALIDADE DO AR INTERNO	66
6.1	Fontes de contaminação do ar interior	69
6.2	Técnica para controle de poluentes do ar interior	73
6.3	Padrão referencial do QAI	78
7	O BRASIL E O QAI	79
7.1	Outras regulamentações importantes	80
8	EFEITOS DA QUALIDADE DO AR A BORDO DE UNIDADES MARÍTIMAS	81

9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXO I – LEGISLAÇÃO SOBRE QAI	90

1 INTRODUÇÃO

O tempo que as pessoas despendem no interior de ambientes refrigerados é muito significativo, notadamente em ambientes interiores podemos mencionar alguns como os prédios, supermercados, casas de show e no nosso universo as unidades marítimas, além das sedes das grandes empresas. Baseado neste tempo que passamos em ambientes refrigerados devemos nos preocupar com um item muito importante que é a qualidade do ar.

A qualidade do ar é vital para o organismo humano uma vez que este necessita de oxigenação constante para que possa cumprir todas as suas funções.

Existem muitos compostos potencialmente perigosos libertados no interior de ambientes refrigerados devido, às emissões provenientes dos materiais de construção, produtos e equipamentos de limpeza, combustões, produtos de consumo, etc. Também à poluição de origem microbiana proveniente de centenas de espécies de bactérias, fungos e bolores crescendo nos interiores, não pode de forma alguma ser minimizada.

As Diretrizes da Organização Mundial de Saúde tem normas específicas para valores limite de exposição para partículas suspensas, ozono, dióxido de azoto e dióxido de enxofre aplicáveis em todos os ambientes que não sejam só de trabalho, incluindo os espaços interiores das habitações, escolas, veículos, plataformas, etc.

O desenvolvimento de agentes biológicos no ar interior é atribuído à umidade e à ventilação deficiente. De notar que o excesso de umidade em qualquer tipo de material provoca o crescimento de microrganismos tais como fungos e bactérias responsáveis pela emissão para o ar interior, de esporos, células, fragmentos e compostos orgânicos voláteis.

A umidade provoca também a degradação dos materiais, o que constitui outro fator de poluição do ar interior e tem sido considerada o principal fator de risco para os casos de asma e sintomas respiratórios (tosse e dificuldades respiratórias). A ventilação deficiente é extremamente prejudicial à saúde (Síndrome dos Edifícios Doentes, inflamações, infecções, asma, etc.).

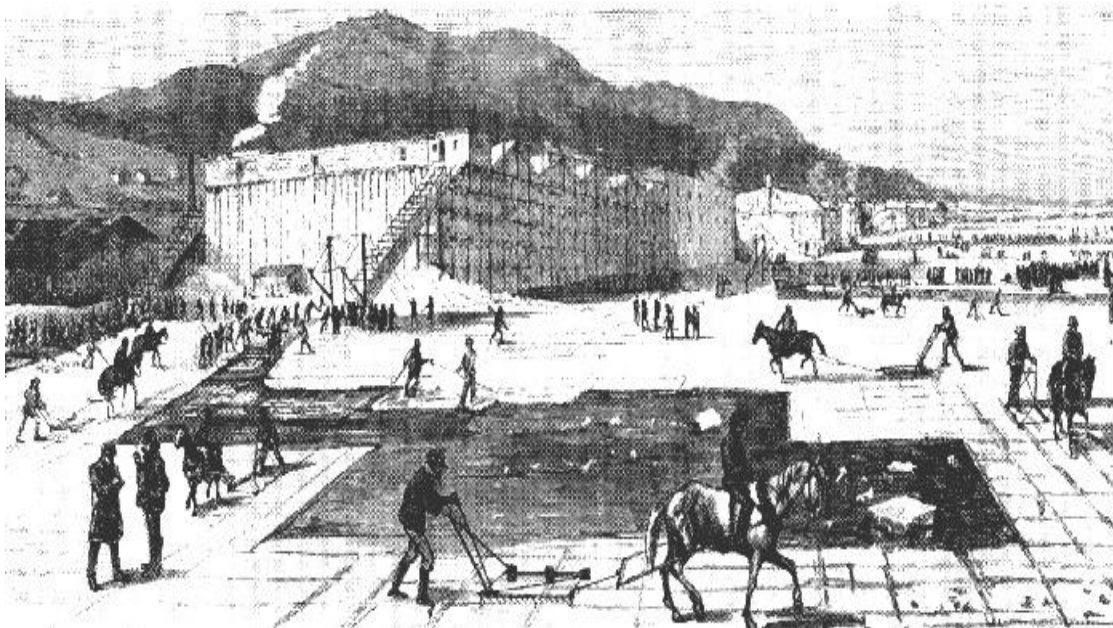
No controle da umidade e prevenção da condensação a ventilação adequada é importante. O sistema de ventilação pode constituir uma fonte de riscos para a saúde, por exemplo no caso de crescimento de microrganismos e emissões de Compostos Orgânicos Voláteis causados pela acumulação de partículas nos sistemas de ventilação.

Baseado nestas informações preliminares foi realizado este trabalho de pesquisa para chamar atenção para este problema relacionado com a qualidade do ar interna e os aspectos importantes que devem ser observados com relação ao tema.

2 HISTÓRICO DA REFRIGERAÇÃO

Refrigeração é a redução e manutenção da temperatura de corpos ou substâncias, abaixo da existente na sua vizinhança, e pode ser obtida por meios naturais ou artificiais. O gelo é o meio natural mais usado para refrigerar. Nos primórdios, esse gelo era transportado de regiões mais frias, armazenado no inverno para ser utilizado no verão ou formado nas superfícies dos lagos em noites frias para ser usado durante o dia. A figura 1 abaixo mostra uma indústria nos Estados Unidos: o gelo, extraído da superfície congelada do rio *Hudson*, era cortado em placas e transportado em trenós de tração animal, para ser usado na conservação de alimentos e na obtenção de temperaturas agradáveis em residências de alto padrão.

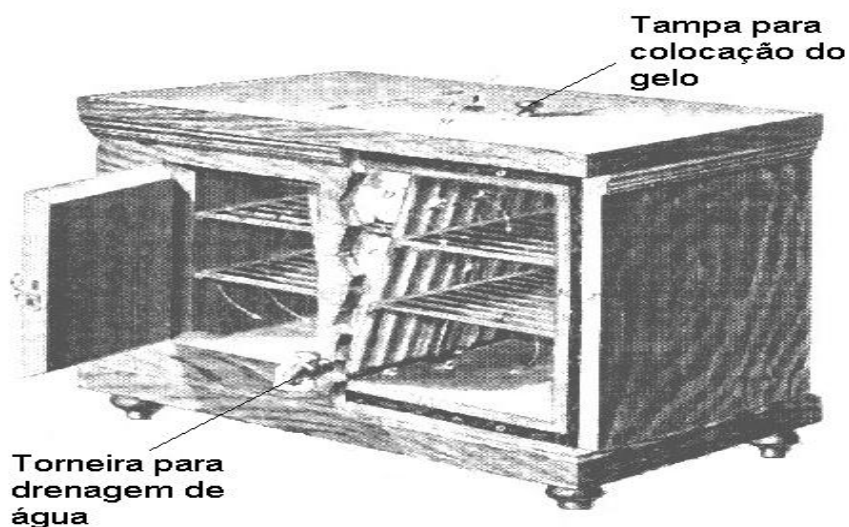
Figura 1 – Extração de gelo na superfície congelada do rio *Hudson* (Estados Unidos, 1874)



Fonte: livro *Refrigeração e Ar Condicionado*.

A Figura 2 mostra um refrigerador doméstico antigo: a tampa na parte superior permite a introdução do gelo e a torneira instalada na parte mais baixa do compartimento do gelo drena a água resultante de sua fusão. Prateleiras vazadas nos compartimentos refrigerados permitem a movimentação do ar por diferença de densidade, e temperaturas entre 6 e 10 ° C são alcançadas. Redes de distribuição entregavam as pedras de gelo regularmente de porta em porta ou quando eram solicitadas.

Figura 2 - Geladeira antiga para conservação de alimentos (1854)



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

As áreas de refrigeração e ar condicionado são correlatas, embora cada uma tenha seu campo específico de atuação. A aplicação mais disseminada da refrigeração é o ar condicionado que é o foco central do nosso trabalho, embora outras áreas possam ser citadas, como a refrigeração industrial. A exemplo da refrigeração o ar condicionado encontra aplicações outras distintas do simples resfriamento. Ar condicionado de conforto é o processo de condicionamento do ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado.

Assim, condicionamento de ar inclui processos, tais como aquecimento, radiação térmica e regulagem de velocidade e qualidade do ar, incluindo a remoção de partículas e vapores. A maioria de das unidades de condicionamento de ar estão associadas a aplicações de conforto. Sistemas para resfriamento de ar durante o verão tornaram-se obrigatórios em edifícios de grande porte no mundo inteiro. Mesmo em regiões onde as temperaturas de verão não sejam elevadas, edifícios grandes devem ser resfriados para compensar o calor liberados pelas pessoas, luzes e outros aparelhos elétricos. Em regiões de temperaturas elevadas no verão, o resfriamento do ar pode contribuir para o aumento da efetividade no trabalho. Em edifícios de grande porte e em plataformas e navios são utilizados sistemas centrais, que podem se constituir de uma central de resfriamento localizadas em uma sala de máquinas. Os recintos condicionados podem ser servidos por

um ou mais sistemas de fornecimento e de retorno de ar ou por trocadores de calor localizados nos próprios recintos, aos quais se fornece água fria. Os termos ar condicionado e refrigeração utilizados neste texto referem-se tanto ao tratamento do ar para propiciar condições mínimas de conforto a trabalhadores em ambientes insalubres, como também para controle das condições do ar em ambientes de utilização normal do ser humano, como edifícios, supermercados, etc.

O ar condicionado tem sido usado também em outras aplicações como no processo de impressões de jornal, em fábricas têxteis, em salas limpas que são usadas em processo de alta precisão, assim como em salas de armazenamento de produtos fotográficos além de salas centrais de processamento de dados e computação. Assim temos também aplicação em residências e automóveis. Em meados do século XIX o homem descobriu a propriedade criogênica de gases: a capacidade de retirar calor de um sistema quando submetido à expansão. E começou a fazer gelo, industrialmente, em grande escala. A partir dessa época, então, tem início a atividade comercial de conservação de alimentos em grande escala. Não havia, sequer, os grandes entrepostos frigoríficos, mas sim as fábricas de gelo. Nos setores comercial e residencial este gelo industrial era usado para fazer essa conservação dos alimentos em pequena escala.

A refrigeração artificial foi usada inicialmente para produzir gelo e reduzir a dependência climática. Os gases refrigerantes usados neste início da história da refrigeração eram a amônia, o dióxido de enxofre e o cloreto de metil. A refrigeração era, assim, um processo perigoso: explosivo, inflamável e tóxico. Após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) a indústria da refrigeração consolidou-se. Um fator importante desse êxito foi o surgimento do sistema selado de pequeno porte, que apresentava baixo custo de aquisição e operação, e exigia poucos cuidados de manutenção. Antes disso, em 1930, surgiram os refrigerantes cloro fluorados, com baixos índices de toxicidade e periculosidade, usados em sistemas selados residenciais e comerciais. Os meios de refrigeração artificial reduzem a temperatura mediante o consumo de certa quantidade de energia, segundo um princípio de funcionamento característico para cada tipo de processo.

Abaixo temos um resumo dos processos de refrigeração mais comuns, seus princípios básicos de funcionamento e suas aplicações típicas.

Compressão Mecânica de Vapor: A refrigeração é produzida através de um líquido (refrigerante primário) que recebe calor e evapora em baixa pressão e temperatura, entre

suas aplicações temos os aparelhos de ar condicionado de grande porte, domésticos e sistemas comerciais.

- a) Absorção de Vapor: ocorre através de um fluido volátil em baixa pressão e temperatura e destilação da solução em alta pressão; tem suas aplicações em pequenos refrigeradores domésticos e ar condicionado de grande porte.
- b) Efeito Termelétrico: o resfriamento é produzido quando uma corrente elétrica atravessa uma junção de dois metais diferentes (efeito *Peltier*); tem suas aplicações em pequenos instrumentos de medição e equipamentos eletrônicos.
- c) Expansão do Ar: A temperatura do ar é reduzida quando o mesmo em alta pressão é expandido adiabaticamente de modo a realizar trabalho sobre um pistão; tem suas aplicações em resfriamento de aeronaves.
- d) Ejeção de Vapor: Redução de temperatura de evaporação da água dentro de um tanque, pela passagem de vapor sob alta pressão através de um difusor; tem suas aplicações em sistemas de ar condicionado de navios.

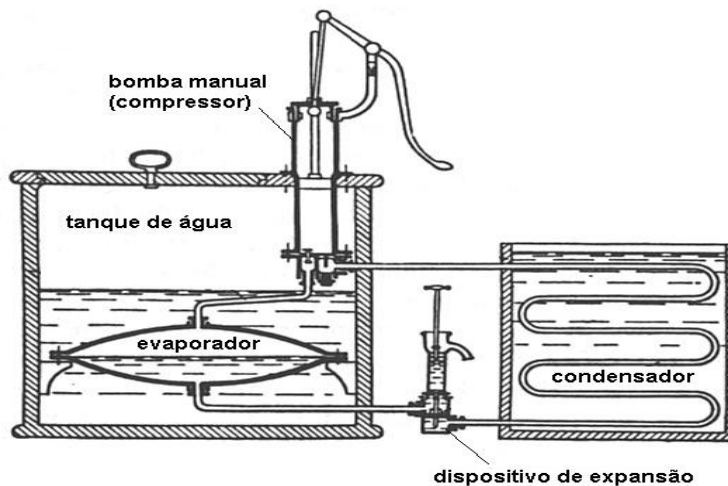
Vários estudiosos e empreendedores contribuíram para a evolução da refrigeração artificial por compressão mecânica de vapor, seja descobrindo seus princípios físicos e/ou desenvolvendo e construindo equipamentos e sistemas. De modo geral, essas pessoas trabalhavam na Europa ou nos Estados Unidos.

Dr. William Cullen (1755) sabia a muito tempo sobre a sensação de resfriamento que o éter provocava quando evaporava em contato com a pele. *Cullen*, que era professor de química na Universidade de *Endimburgo*, usou esse efeito para obter gelo, bombeando o vapor de éter formado dentro de um recipiente hermético contendo éter líquido e mergulhando este recipiente em água. A temperatura da parede do recipiente baixava e a água congelava sobre a superfície externa deste. Dois princípios sustentavam esse fenômeno: todo líquido tende a se transformar em vapor, e quando este vapor em um recipiente hermético é bombardeado para fora do mesmo a pressão diminui e parte do líquido evapora.

Em 1780, *J. F. Clouet* e *G. Monge*, obtiveram a liquefação do dióxido de enxofre (SO_2), e em 1787, *Marun* e *Troostwijk* a da amônia (NH_3). *Oliver Evans*, da Filadélfia, foi o primeiro a sugerir a junção do princípio de refrigeração por evaporação com a liquefação de vapor por compressão, porém, não se tem notícia se ele tentou fazer isso. Em 1834, *Jacob Perkins*, um inventor americano trabalhando em Londres, foi o primeiro a fazer uma

descrição completa do ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor tal como o conhecemos hoje. A máquina descrita e patenteada por *Perkins* é mostrada na Figura 3. O éter (fluido volátil) evapora ao receber calor da água existente no tanque. A bomba manual aspira o vapor e o comprime até uma pressão em que ele possa liquefazer nos tubos do condensador ao ceder calor para a água de resfriamento. O líquido condensado escoo através do dispositivo de expansão, que mantém a diferença de pressão entre o condensador e o evaporador. A pequena bomba existente acima do dispositivo de expansão serve para reposição da carga de refrigerante.

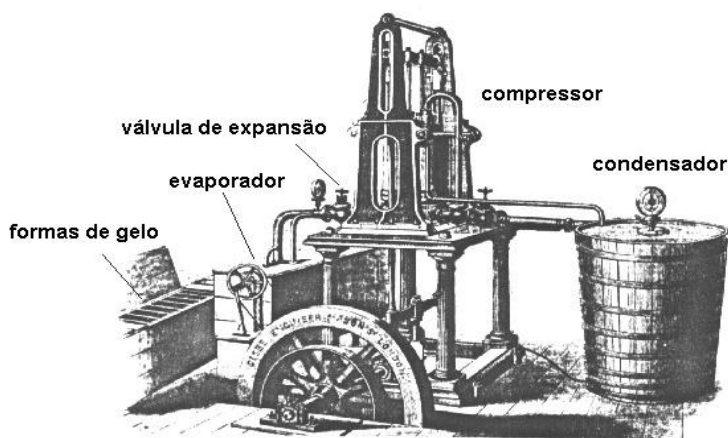
Figura 3 - Máquina de Refrigeração por compressão mecânica de vapor, idealizada por *Jakob Perkins*, conforme patente britânica número 6662 de 1834



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Segundo relatos da época, a máquina de *Perkins* não despertou qualquer interesse comercial devida ao seu acionamento manual. Somente em 1857, *James Harrison* e *Daniel Siebe* fabricaram a primeira máquina por compressão mecânica de vapor que realmente funcionava. A Figura 4 mostra uma dessas máquinas de refrigeração, que foram usadas na Inglaterra e na Austrália para fabricação de gelo e cristalização de cera de parafina a partir do óleo de xisto. O ponto de ebulição normal do éter ($34,5^{\circ}\text{C}$) ocorre em pressões de evaporação menores do que a pressão atmosférica. Por isso, há o perigo de entrada de ar no sistema, que misturado ao éter resulta numa mistura potencialmente explosiva. Em compensação, a pressão de condensação não é muita elevada; isso permite construções leves e pouco robustas do condensador.

Figura 4 – Máquina de refrigeração por compressão mecânica de vapor, usando éter como refrigerante, idealizada por *James Harrison* e fabricada por *Daniel Siebe* em 1857



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Em 1864, *Charles Tellier* de Paris, usou o éter dimetílico com ponto de ebulição normal em $-23,6^{\circ}\text{C}$ e obteve pressões de evaporação maiores do que a atmosférica. Em 1874, *Raoul Pictet* de Gênova usou o dióxido de enxofre (SO_2) com ponto de ebulição normal em $\sim 10^{\circ}\text{C}$. O éter dimetílico não foi bem aceito, porém, o dióxido de enxofre foi um refrigerante importante por mais de 60 anos.

Em 1870, *Carl Von Linde* de Munique introduziu a amônia (NH_3), que se tornou o refrigerante mais importante em instalações de grande porte, depois que algumas limitações mecânicas na construção do condensador foram superadas. O ponto de ebulição normal de -33°C resultava de pressões de evaporação superiores à atmosférica. Entretanto, para a condensação era necessária pressão superior a 10 atmosferas ($1\text{atm} = 101,325\text{ kPa}$), o que encarecia bastante a construção do condensador. Em 1886, *Franz Windhausen* de Berlim, introduziu o dióxido de carbono (CO_2). A pressão de condensação era muito elevada (superior a 80 atmosferas) e a construção do condensador tornava-se muito pesada. Entretanto, devido a seu baixo grau de periculosidade tornou-se o principal refrigerante usado em navegação por mais de 50 anos, só sendo substituído por novos refrigerantes em 1955.

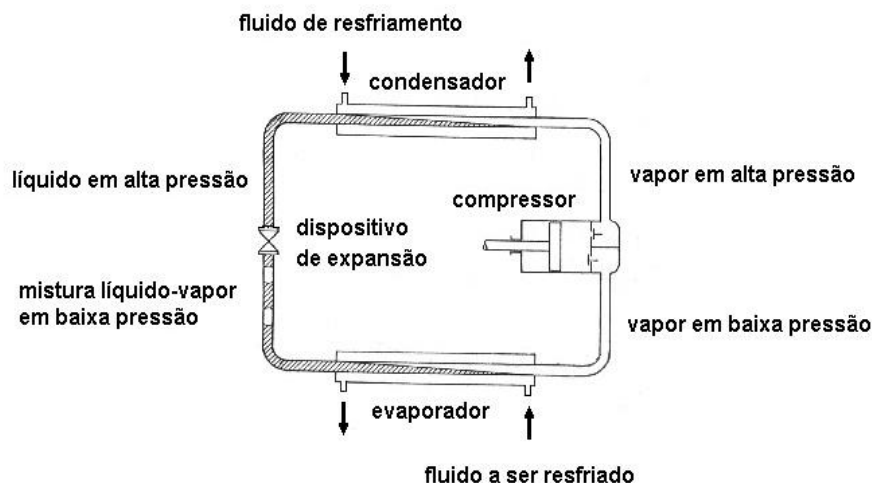
Nos anos 1929–30, *Thomas Midgley*, trabalhou com uma equipe de pesquisadores nos laboratórios *General Motors* em Detroit e obteve um refrigerante bastante promissor, que se tornaria num dos principais responsáveis pela expansão e consolidação da indústria da refrigeração: o diclorodifluormetano (CCl_2F_2), com ponto de ebulição à pressão normal de –

29,8°C, tomou o nome comercial de *Freon-12*. Esses compostos químicos, derivados do metano e do etano, denominados hidrocarbonetos clorofluorados, eram conhecidos desde o final do século 19; porém, suas propriedades como refrigerante só então foram investigadas.

A Figura 5 mostra o esquema básico do ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor. Os componentes principais são: evaporador, compressor, condensador e dispositivo de expansão. O compressor aspira o vapor formado no evaporador e reduz sua pressão interna. Conseqüentemente, a temperatura de equilíbrio da mistura líquido-vapor também diminui. Como o líquido refrigerante está em contato térmico com a substância que se deseja resfriar, ele absorve calor latente resfriando-a.

O compressor eleva a pressão do vapor até que sua temperatura seja maior do que a do fluido de resfriamento e o descarrega no condensador. No condensador, o fluido refrigerante rejeita calor para o fluido de resfriamento e se liquefaz. No dispositivo de expansão, a pressão do líquido é reduzida até a pressão de evaporação para que ele possa ser reaproveitado. O dispositivo de expansão é um controle de fluxo do refrigerante, que mantém a diferença de pressão entre o condensador (lado de alta pressão) e o evaporador (lado de baixa pressão) do sistema.

Figura 5 - Esquema simplificado do sistema de refrigeração por compressão mecânica de vapor, mostrando os componentes principais



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Uma forma de remover o vapor da superfície de um líquido é absorvendo-o por meio de uma substância com a qual ele reaja quimicamente e nela se dissolva facilmente: o vapor d'água é rapidamente absorvido pelo ácido sulfúrico. Este princípio foi usado em 1810 por

John Leslie para produzir gelo artificialmente. Ele usou dois vasos conectados por um tubo: um contém água e outro ácido sulfúrico forte. Com o passar do tempo uma fina camada de gelo formou-se na superfície da água.

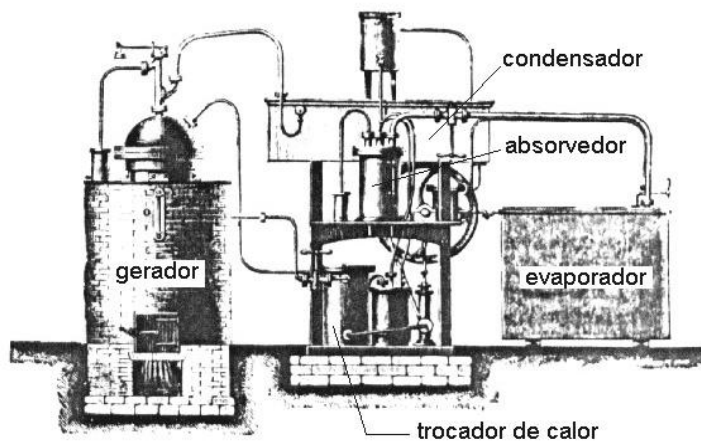
A explicação é semelhante à do experimento de *Cullen*. A água evapora pela redução da pressão de vapor sobre ela, que remove entalpia de vaporização do restante que permanece líquido. A temperatura cai, até que eventualmente a água congela. Uma bomba de vácuo pode ser usada para acelerar o processo. Sob pressão atmosférica, a água evapora quando a pressão de saturação do vapor, correspondente à sua temperatura, é maior do que a pressão parcial de vapor d'água no ar. Como a evaporação necessita de entalpia de vaporização (calor latente) a temperatura da água remanescente é reduzida. Entretanto, a presença do ar torna difícil a evaporação e se ele for removido o congelamento pode ser acelerado.

No experimento de *Leslie* o vapor d'água formado é absorvido pelo ácido, de modo que a atmosfera dentro do recipiente evacuado mantém-se seca. Obviamente, se o gelo está sendo formado o ácido deve manter a pressão parcial do vapor d'água dentro do recipiente inferior a sua pressão de saturação a zero graus *Celsius*. O método de *Leslie* tornou-se a base de várias máquinas comerciais para fabricação de pequenas quantidades de gelo. Entretanto, havia a necessidade de recargas periódicas de ácido sulfúrico.

Para operar continuamente havia necessidade de aspiração contínua de ácido sulfúrico do recipiente, de modo que a solução fosse concentrada por ebulição. Um equipamento desse tipo foi projetado por *Windhausen* em 1878 e obteve algum sucesso comercial, porém, nunca foi muito popular. Era usado para fabricar gelo e resfriar água. Neste sistema, a água atuava como *refrigerante*; o ácido sulfúrico era denominado *absorvente*.

Em 1860, *Ferdinand Carré* construiu com sucesso um sistema de absorção de vapor que funcionava continuamente, como o mostrado na Figura 6. Nele, a amônia é o *refrigerante* e a água o *absorvente*. Sabe-se que a água absorve fortemente o vapor de amônia, e se o evaporador é conectado a um circuito de água que a coloca em contato direto com o vapor de amônia este é absorvido e sua pressão é reduzida. A entalpia de evaporação da amônia pode ser então usada para refrigeração de outras substâncias. A solução forte de água-amônia, formada no absorvedor, é bombeada para o gerador onde é destilada e retificada sob pressão na qual vapor de amônia condensa ao ceder calor para o meio externo. O processo de retificação permite obter vapor de amônia quase puro; entretanto, o que retorna ao absorvedor não é água pura mas sim uma solução fraca de amônia dissolvida em água.

Figura 6 - Máquina de Refrigeração por absorção de vapor de Ferdinand Carré



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

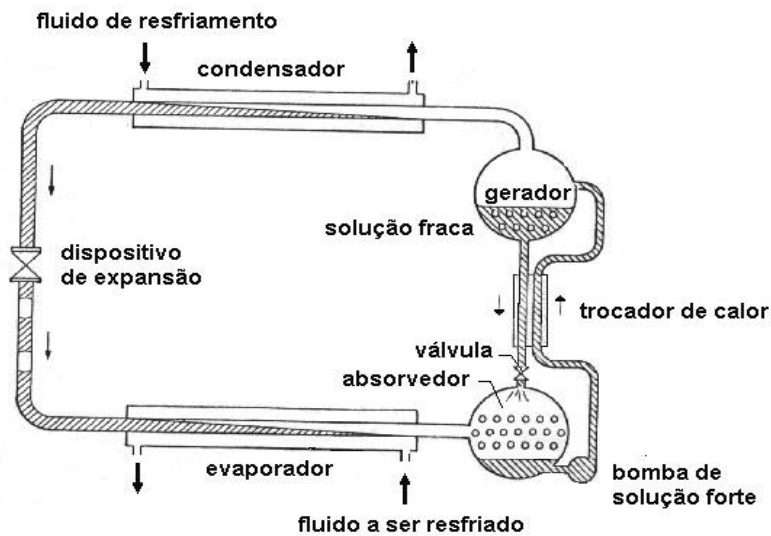
A Figura 7 mostra o esquema básico com os principais componentes do sistema de absorção. Verifica-se o condensador, o evaporador e a válvula de expansão. Existe um conjunto composto de absorvedor, bomba de solução forte, trocador de calor e gerador. Esse conjunto aspira o vapor em baixa pressão do evaporador e o entrega em alta pressão no condensador, tal qual faz o compressor.

O absorvedor é alimentado com a solução fraca de água-amônia que absorve o vapor de amônia. A absorção da amônia pela água é um processo que libera grande quantidade de calor, e, se nenhum meio de resfriamento for providenciado a temperatura sobe e o processo de absorção cessa.

Geralmente, a mesma água usada para resfriar o condensador resfria antes o absorvedor. A solução forte, formada no absorvedor, tem sua pressão elevada pela bomba e é descarregada no gerador depois de passar no trocador de calor. No gerador, a solução forte é aquecida e o vapor produzido é então retificado para que somente a amônia quase pura seja descarregada no condensador. A solução fraca que é formada está quente.

Por isso, um trocador de calor é interposto entre o gerador e o absorvedor a fim de aquecer a solução forte até a temperatura do gerador e resfriar a solução fraca até a temperatura do absorvedor. Para manter a diferença de pressão entre o gerador e o absorvedor é instalada uma válvula na tubulação da solução fraca um pouco antes da entrada do líquido no absorvedor.

Figura 7 - Esquema simplificado do sistema de refrigeração por absorção de amônia, mostrando seus componentes principais



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

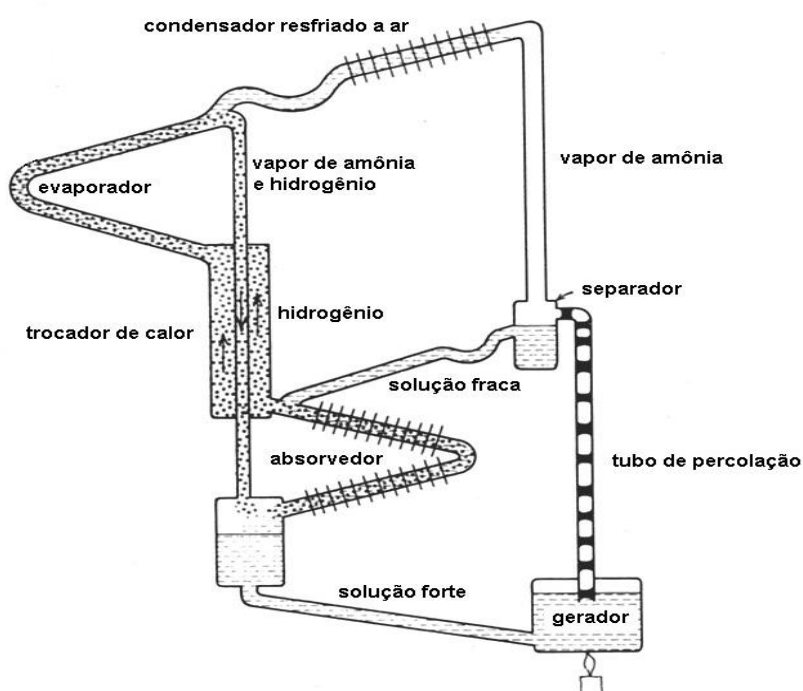
O sistema desenvolvido por *Carré* durante muitos anos não sofreu modificações e é um fator importante na história da refrigeração. Entretanto, quando os sistemas de absorção consolidaram seu sucesso surgiram os sistemas por compressão mecânica de vapor, que relegaram os de absorção ao segundo plano. Por muitos anos, o sistema de absorção de vapor foi usado somente em refrigeradores domésticos; porém, desde as duas grandes crises do petróleo nos anos 70, voltou a ser uma alternativa atraente para sistemas de grande porte.

A Figura 8 mostra um sistema de absorção usado ainda hoje em refrigeradores domésticos. Neste arranjo, as partes móveis (bomba de solução forte e válvula de expansão) foram eliminadas. Para uniformizar a pressão em todo o sistema *Geppert* usou a seguinte idéia: no lado de baixa pressão foi introduzido um gás não-condensável de modo que a pressão total é igual no condensador e no gerador. Inicialmente se usou ar; entretanto, as taxas de evaporação obtidas foram muito baixas.

Em 1922, *Carl Munters* e *Balzar von Platen* (Real Instituto de Tecnologia, Estocolmo, Suécia), construíram um sistema em que o hidrogênio foi usado como gás não-condensável e sua circulação entre o evaporador e o absorvedor era assegurada pela diferença de densidade causada por diferentes concentrações de amônia na solução. Além disso, eles

usaram o princípio de percolação para elevar a solução forte até o separador e obter a pressão hidrostática necessária para alimentar a solução fraca no absorvedor. Assim, os sistemas selados de amônia foram possíveis muito antes dos sistemas selados por compressão mecânica de vapor, e seu uso em refrigeradores domésticos foi um verdadeiro sucesso. Entretanto, o desenvolvimento de sistemas selados por compressão de vapor, mais uma vez relegou os sistemas de absorção ao plano secundário.

Figura 8 - Esquema do sistema de absorção de vapor para refrigerador doméstico



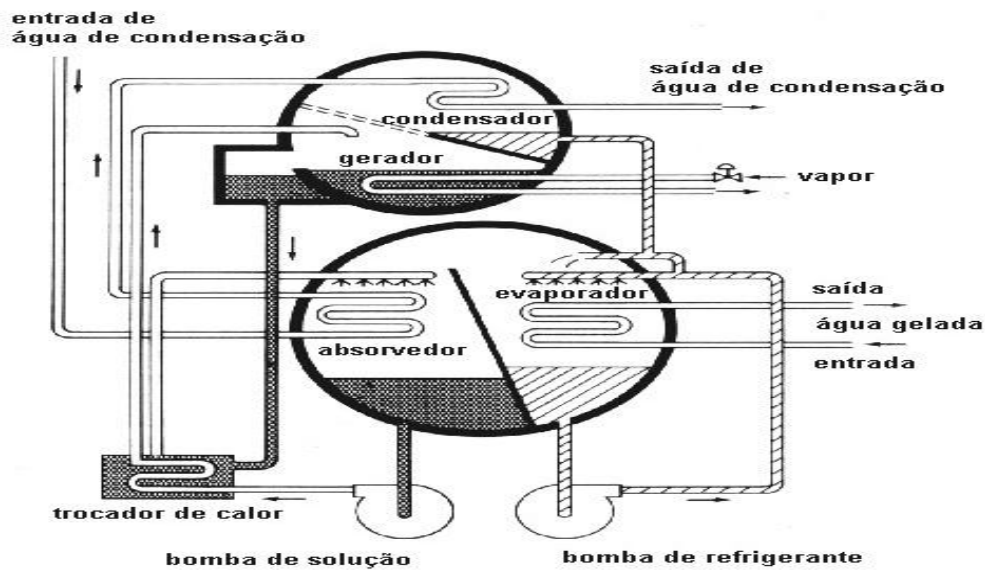
Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

A Figura 9 mostra o esquema da máquina de refrigeração por absorção de vapor usando a solução de brometo de lítio e água. O brometo de lítio puro é sólido e misturado com água em quantidade adequada forma uma solução aquosa homogênea. Nesse caso, a água é o refrigerante e a solução de brometo de lítio o absorvente. O funcionamento é semelhante ao do sistema água-amônia. Entretanto, como o brometo de lítio não é volátil, na saída do gerador forma-se somente vapor d'água tornando dispensável o uso do retificador.

Construções modernas reúnem o gerador com o condensador e o evaporador com o absorvedor, resultando em equipamentos compactos, reduzindo seu custo e aumentando sua eficiência. O sistema de brometo de lítio é indicado para obtenção de água gelada em

sistemas de ar condicionado de grande porte. Os primeiros sistemas por absorção de vapor usavam carvão como combustível para aquecimento do gerador; eventualmente, vapor quente de uma caldeira era utilizado. Atualmente, esses sistemas usam gás ou óleo natural como combustível. O aproveitamento de energia residual de outros sistemas térmicos também está sendo muito difundido.

Figura 9 - Esquema de absorção de vapor AguaLIBr usado em sistemas de ar condicionado de grande porte

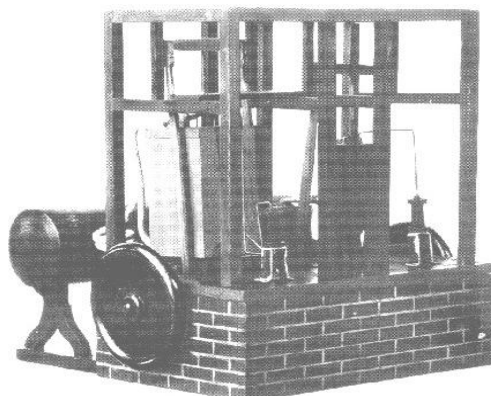


Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Quando o ar em alta pressão é expandido adiabaticamente, de modo que realize trabalho sobre um pistão, sua temperatura é reduzida em decorrência da redução de sua energia interna. Este princípio, conhecido desde o século 18, foi usado em 1828 por *Richard Trevithick* para descrever um processo de refrigeração.

A Figura 10 mostra um modelo da primeira máquina de refrigeração a ar que foi construída por *John Gorrie*, em 1844, na Flórida. Muitos a consideram o primeiro refrigerador bem sucedido. Em 1862, *Alexander Carnegie Kirk* idealizou um sistema de refrigeração baseado no ciclo reversível de *Stirling*. Depois de *Kirk*, os inventores retornaram à idéia original de *Gorrie*, bem mais simples, e em 1875, *Paul Giffard* construiu o primeiro modelo de ciclo aberto de refrigeração.

Figura 10 - Modelo de máquina de refrigeração por expansão construída por *John Gorrie* (Museu de *Apalachicola*, *Flórida*, Estados Unidos)

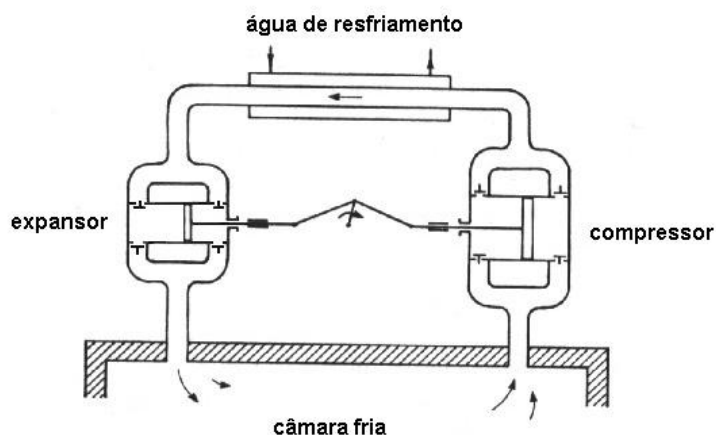


Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

A Figura 11 mostra o princípio de funcionamento da máquina de refrigeração de expansão de ar com ciclo aberto. O ar da câmara fria é conduzido para o interior de um cilindro onde é comprimido. Durante o processo a temperatura do ar aumenta com o aumento da pressão. O ar quente passa então através de um trocador de calor onde sua temperatura é reduzida pela água de resfriamento. O ar comprimido é expandido dentro de um cilindro realizando trabalho sobre o pistão e tem sua temperatura reduzida. A ar frio é descarregado na câmara onde resfria os produtos armazenados. O trabalho realizado pelo ar sobre o cilindro de expansão é usado para fornecer parte do trabalho necessário à movimentação do compressor.

A máquina a vapor usada para movimentar o compressor era montada geralmente na mesma base dos cilindros de compressão e de expansão e estava diretamente acoplada neles. O sistema aberto foi, por mais de 20 anos, o principal método de refrigeração do setor naval, e durante esse tempo ele foi melhorado em diversos aspectos.

Figura 11 - Esquema do ciclo aberto de refrigeração por expansão de ar



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

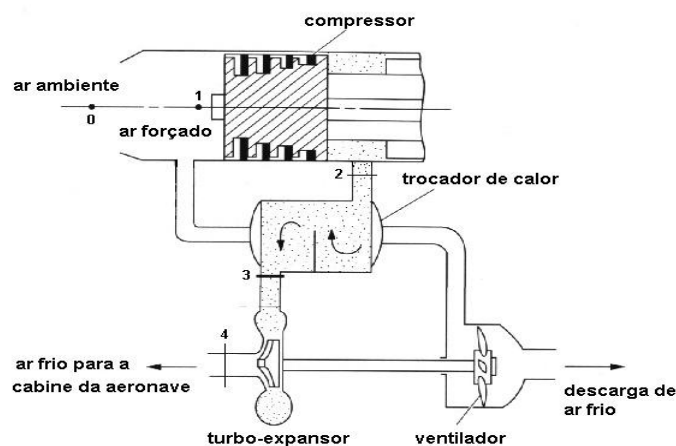
Atualmente, o sistema de expansão de ar usando um turbo-expansor é usado para resfriar cabinas de aeronaves. Uma vantagem deste sistema é que ele não utiliza partes móveis tipo cilindro-pistão para comprimir e expandir o ar.

A Figura 12 mostra seu esquema. No ponto 0, o ar ambiente em velocidade subsônica, que circunda a aeronave em alta altitude, é forçado para dentro da turbina e sua pressão aumenta do ponto 0 ao ponto 1.

O ar é comprimido até o ponto 2, elevando sua temperatura. No trocador de calor, o ar aquecido do ponto 2 libera calor para a corrente de ar extraída pelo ventilador, alcançando o ponto 3.

Ao passar pelo turbo - expansor tem sua temperatura reduzida até o ponto 4, e então é descarregado na cabina para resfriar a aeronave. Depois de remover calor da cabina o ar é descarregado na atmosfera. Isto caracteriza um ciclo aberto, visto que nenhum ar é recirculado.

Figura 12 - Sistema de refrigeração por expansão de ar usado em resfriamento de cabines de aeronaves



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

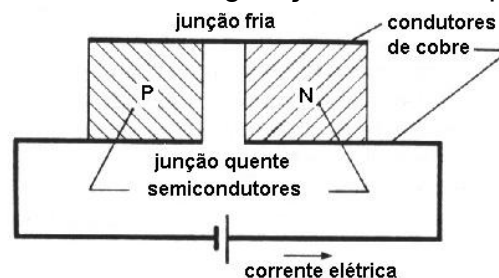
Uma descoberta de *Peltier* em 1834 foi a refrigeração por efeito termoelétrico, este método de refrigeração é baseado numa corrente elétrica que percorre um circuito composto de dois metais diferentes uma das junções é resfriada e a outra é aquecida. Com metais puros este efeito é comparativamente pequeno e é em grande parte encoberto pelo aumento de temperatura devida à resistência dos condutores e pela condução de calor entre a junção quente e a fria. Apesar disso, usando bismuto e antimônio, *Lenz* fabricou uma pequena

quantidade de gelo em 1838. Nos metais puros a condutibilidade térmica reduzida está relacionada com a baixa condutibilidade elétrica, de modo que se metal puro for usado à condução de calor de uma junção para outra é pequena, mas a perdas devido à resistência são grandes.

A efetividade depende principalmente da potência termelétrica, que nos metais puros é muito pequena. Nos últimos anos alguns semicondutores com elevada potência termelétrica foram desenvolvidos, tornando possível a construção de pequenos refrigeradores. Os semicondutores podem ser de dois tipos: tipo-n se a corrente é conduzida pelos elétrons e tipo-p se não o é. Estes são fabricados pela contaminação da substância pura com pequenas quantidades de impurezas para fornecer os condutores de corrente.

O semicondutor mais utilizado atualmente para fins de refrigeração é o bismuto-telúrio. Um elemento de refrigeração é mostrado na Figura 13, composto de materiais tipo-n e tipo-p. Os dois blocos são montados em um circuito usando elementos de cobre como condutor. Aqui, o próprio cobre não toma parte no processo agindo somente como um condutor. É necessária uma fonte de corrente contínua de baixa voltagem. Visto que cada elemento utiliza somente uma fração de Volt, vários deles são conectados em série para formar um módulo ficando as junções quentes de um lado e as frias do outro.

Figura 13 - Esquema do sistema de refrigeração usando o princípio termelétrico

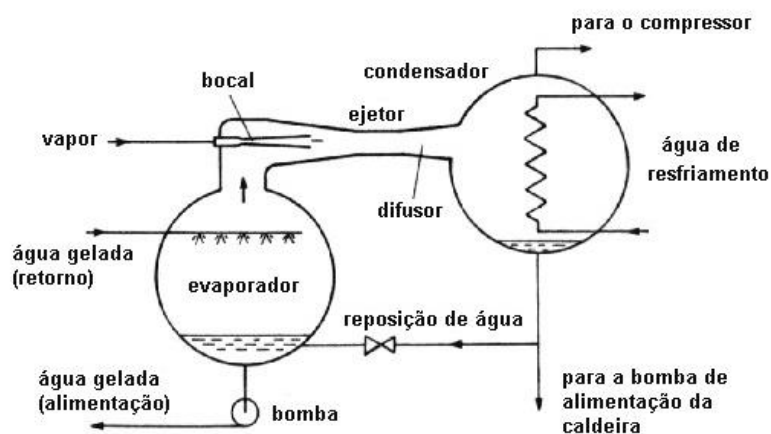


Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Para finalizar temos também a refrigeração por ejeção de vapor. O equipamento usado no sistema de ejeção de vapor é o *ejetor* ou *termo compressor* inventado por *Sir Charles Parsons*, usado originalmente para bombear ar para fora dos condensadores em instalações de potência de vapor. Seu esquema é mostrado na Figura 14. Vapor em alta pressão vindo da caldeira passa por um bocal onde adquire alta velocidade e sua quantidade de movimento induz uma pressão baixa no evaporador por aspiração. A baixa pressão facilita a evaporação de água, que ao mudar de fase resfria a água que permanece no fundo do evaporador. A mistura de vapor vindo do bocal com o produzido no evaporador

tem sua velocidade reduzida no difusor, causando o aumento de pressão suficiente para condensá-lo ao ter calor latente removido pela água de resfriamento. Parte do vapor condensado vai para a bomba de alimentação da caldeira e o restante segue para repor a água no evaporador.

Figura 14 - Esquema do sistema de refrigeração por ejeção de vapor



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

3 PRINCÍPIOS TERMODINÂMICOS DA REFRIGERAÇÃO

Um sistema termodinâmico é qualquer região ou espaço circunscrito por limites reais ou imaginários, selecionados com o objetivo de estudar a energia e suas transformações. Quando um sistema muda de um estado para outro, diz-se que sofre um processo. Os processos termodinâmicos podem ser reversíveis ou irreversíveis. Um processo reversível é aquele que teoricamente é completamente reversível podendo realizar uma trajetória inversa, exatamente igual à do processo inicial. Todos os outros processos são denominados irreversíveis.

Não sendo possível na prática, obter um processo completamente reversível podemos nos aproximar bastante de um processo reversível ideal. Um dos processos reversíveis e que possui particular significado para o nosso trabalho e que é o mais utilizado em sistema de condicionamento do ar objeto deste estudo é o ciclo de refrigeração por compressão de vapor. Refrigeração é a ação de resfriar determinado ambiente de forma controlada, tanto para viabilizar processos, processar e conservar produtos ou efetuar climatização para conforto térmico. Para diminuir a temperatura é necessário retirar energia térmica de determinado corpo ou meio.

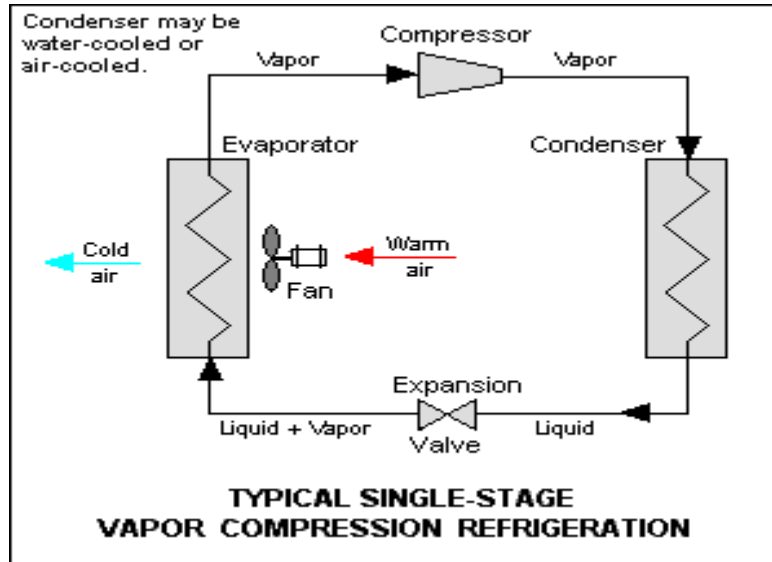
Através de um ciclo termodinâmico, calor é extraído do ambiente a ser refrigerado e é enviado para o ambiente externo. A refrigeração não destrói o calor, que é uma forma de energia. Ela apenas o move de um lugar não desejado para outro que não faz diferença. Entre os ciclos de refrigeração, os principais são o ciclo de refrigeração padrão por compressão, o ciclo de refrigeração por absorção e o ciclo de refrigeração por magnetismo. Como dizemos anteriormente vamos estudar mais detidamente o ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

3.1 Ciclo de refrigeração padrão por compressão de Vapor

Em um ciclo de refrigeração padrão por compressão (refrigerador, ar-condicionado), existem basicamente quatro componentes:

Compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador. Como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Típico Ciclo de Refrigeração de Vapor simples estágio



Fonte : Internet – Wikipedia

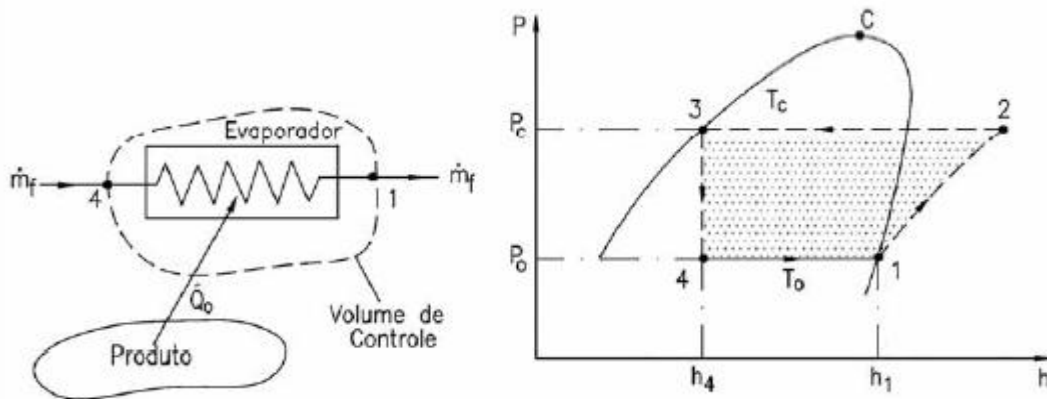
O fluido refrigerante na forma de líquido saturado passa pelo dispositivo de expansão (restrição), onde é submetido a uma queda de pressão brusca, onde passa a ter dois estados, o líquido e o gasoso. O fluido refrigerante, nesse ponto, é denominado de flash gás. Então o fluido é conduzido pelo evaporador, onde absorverá calor do ar do ambiente a ser refrigerado, vaporizando-se. Na saída do evaporador, na forma de gás ele é sugado pelo compressor, que eleva sua pressão (e temperatura) para que possa ser conduzido através do condensador, que cederá calor ao ambiente externo, condensando o fluido e completando o ciclo. O ventilador ou *fan*, efetua a circulação de ar, fazendo com que o ar a ser resfriado entre em contato com a serpentina do evaporador. Para determinar as condições de trabalho do ciclo, aplica-se a primeira lei da termodinâmica em cada volume de controle. Representa-se o ciclo no diagrama pressão- entalpia, aonde se indica o estado do refrigerante em cada etapa.

3.2 Etapas de um Ciclo Ideal de Refrigeração por Compressão

A evaporação é a etapa aonde o fluido refrigerante entra na serpentina como uma mistura predominantemente líquida, e absorverá calor do ar forçado pelo ventilador que

passa entre os tubos. Ao receber calor, o fluido saturado vaporiza-se, utilizando-se do calor latente para poder maximizar a troca de calor. Como mostrado na figura 16.

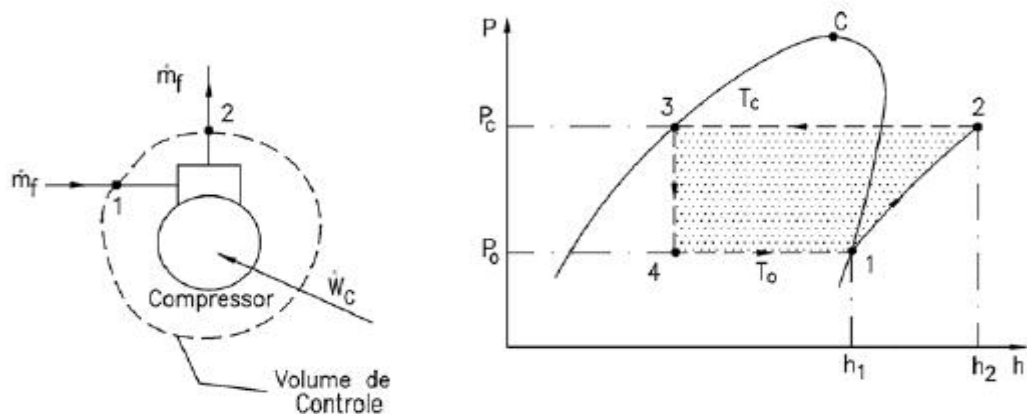
Figura 16 - Ciclo Ideal fase de Evaporação



Fonte : Internet – Wikipedia

A função do compressor é comprimir o fluido refrigerante, elevando a pressão do fluido. Em um ciclo ideal, a compressão é considerada adiabática reversível (isoentrópica), ou seja, desprezam-se as perdas. Na prática perde-se calor ao ambiente nessa etapa, porém não é significativo em relação à potência de compressão necessária. Como mostrado na figura 17.

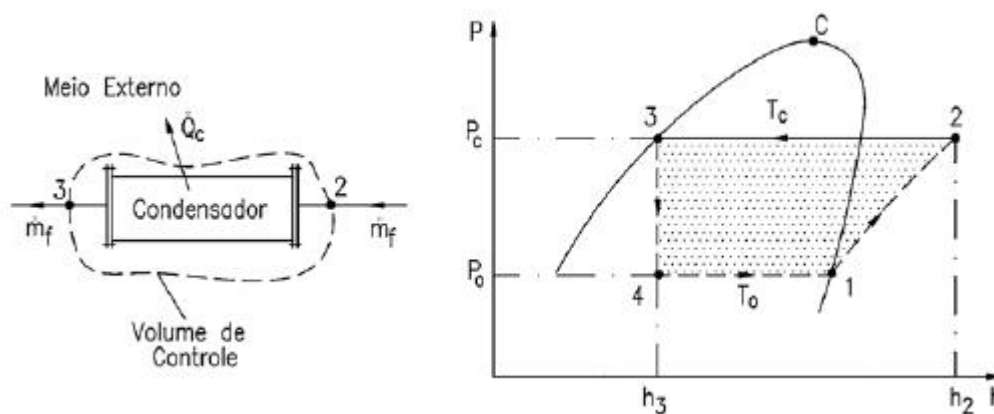
Figura 17 - Ciclo Ideal fase de Compressão



Fonte : Internet – Wikipedia

A condensação é a etapa aonde ocorre a rejeição de calor do ciclo. No condensador, o fluido na forma de gás saturado é condensado ao longo do trocador de calor, que em contato com o ar cede calor ao meio ambiente. Como mostrado na figura 18.

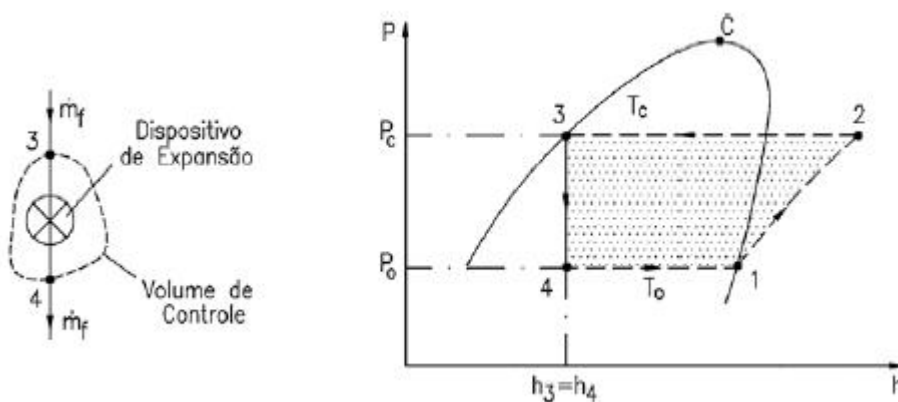
Figura 18 - Ciclo Ideal fase de Condensação



Fonte : Internet – Wikipedia

A expansão é a etapa onde ocorre uma perda de pressão brusca, porém controlada que vai reduzir a pressão do fluido da pressão de condensação para a pressão de evaporação. Em um ciclo ideal ela é considerada isoentálpica, despreza-se as variações de energia cinética e potencial. Como mostrado na figura 19.

Figura 19 - Ciclo Ideal fase de Expansão

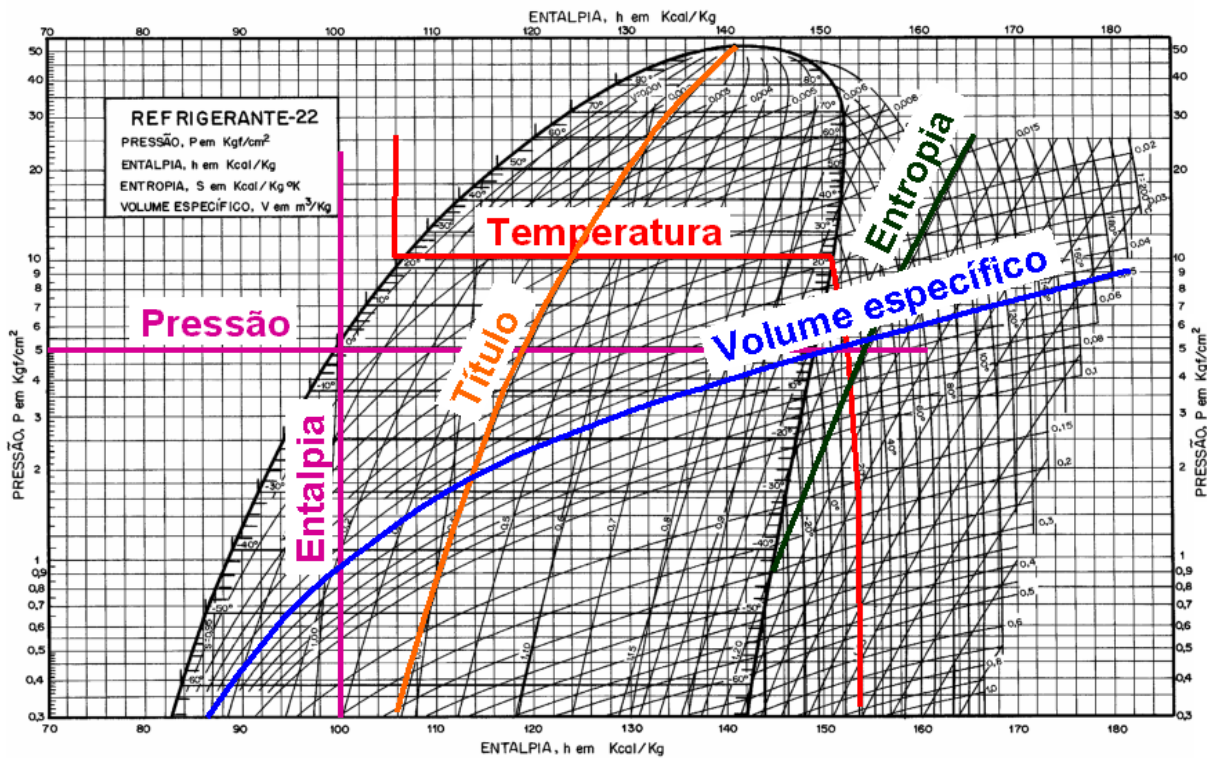


Fonte : Internet – Wikipedia

3.3 Análise do Ciclo Refrigeração por Compressão a Vapor

Os ciclos de refrigeração, isto é, ciclos termodinâmicos de fluidos refrigerantes em equipamentos de condicionamento de ar por compressão de vapor, são adequadamente representados em diagramas $P \times h$ (pressão-entalpia, diagrama de *Mollier*) e diagrama $T \times s$ (temperatura-entropia). Como mostrado na figura 20.

Figura 20 - Análise do Ciclo de Compressão a Vapor



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Observe, no diagrama de *Mollier*, as regiões de líquido sub-resfriado, à esquerda de $x = 0$, de vapor úmido, $0 < x < 1$, no envelope, e vapor super-aquecido, à direita de $x = 1$.

Mas, efetivamente, o ciclo de compressão de vapor consiste de uma série de processos executados sobre e por um fluido de trabalho, denominado de *refrigerante*. A geladeira da sua casa, por exemplo, e o aparelho de ar condicionado de janela, da sala de aula, ambos devem funcionar com o Refrigerante 22, o mais comum, também conhecido por Freon 22 (em tempo, ciclos de compressão modernos já estão utilizando refrigerantes “ecológicos”, que não afetam a camada de ozônio da atmosfera pois refrigerantes cloro-fluor-carbonados destroem o ozônio O_3 da atmosfera). Assim como o ciclo de compressão de uma geladeira de boteco, o ar-condicionado de seu carro, o sistema de condicionamento

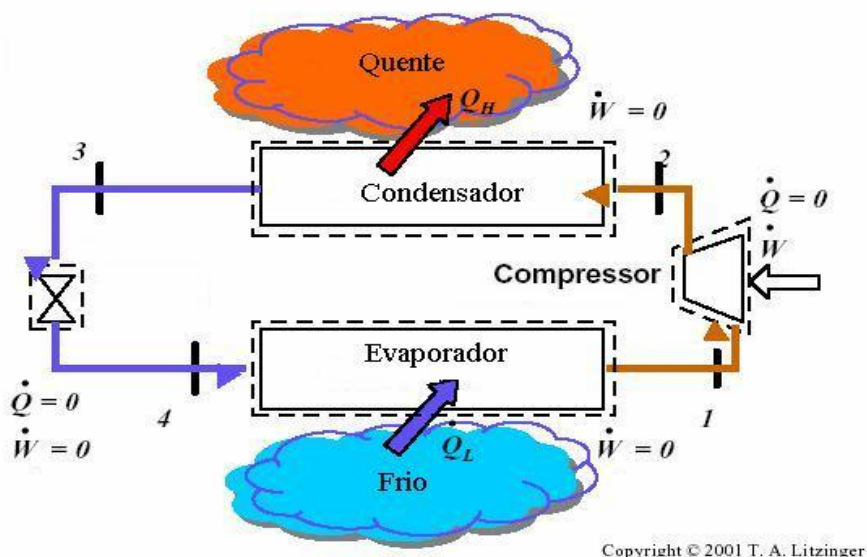
central de um edifício, de um “shopping center”, e vários outros, industriais, comerciais e residenciais.

O ciclo é constituído dos seguintes processos:

- Compressão de vapor, isto é, um compressor realiza trabalho sobre o vapor, transfere potência a ele;
- A condensação do vapor, que ocorre no condensador (o trocador de calor à direita, na figura acima);
- A expansão do líquido após o condensador, que ocorre na válvula termostática ou em um tubo capilar;
- A evaporação do líquido no evaporador.

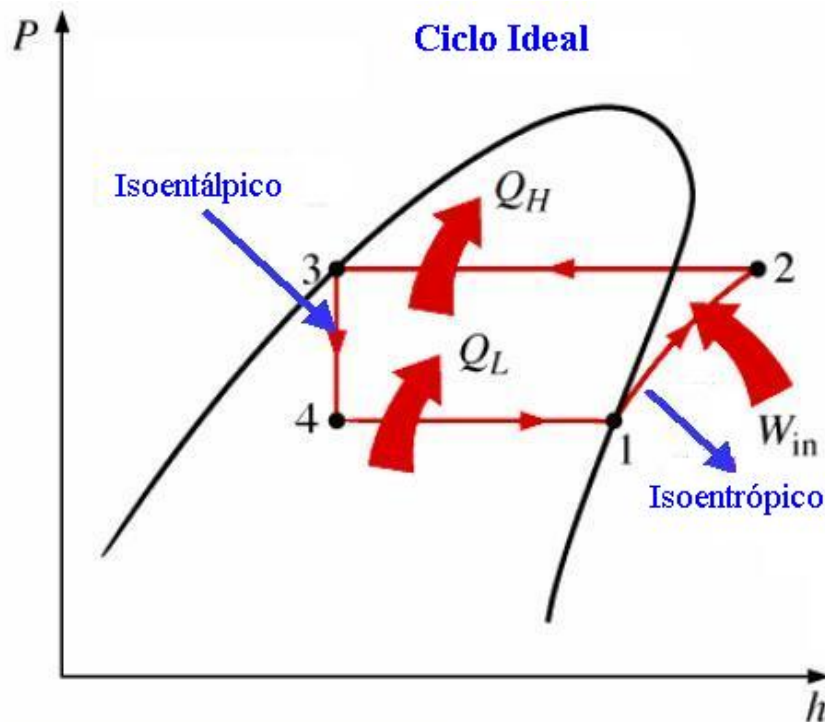
Como em toda análise de ciclos, vale lembrar, novamente, que ciclos reais desviam-se dos ciclos idealizados, isto é, o ciclo ideal serve, para nossa análise do ciclo real, como uma referência, um objetivo a atingir através da melhoria de cada processo que o constitui. Veja então um ciclo ideal de compressão de vapor, na figura seguinte, representado esquematicamente e no diagrama de *Mollier* (P versus h): (Mostrado nas figuras 21 e 22).

Figura 21: Representação esquemática do ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor no diagrama de *Mollier*



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Figura 22 - Ciclo de compressão de vapor ideal no diagrama de *Mollier*



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

O equacionamento do ciclo ideal: seja a formulação simples da Equação da Energia, aplicável para um sistema em regime permanente, para um escoamento unidimensional com uma entrada e uma saída, isto é, $m_s = m_e = m$.

Cada um dos processos que formam o ciclo devem ser analisados separadamente:

Compressão >> Modelo Ideal do Compressor

No compressor só há um fluxo de entrada e um de saída: $m_e = m_s = m$. Vamos desprezar a variação das energias cinética e potencial entre a entrada e saída do compressor; e vamos admitir que o processo de compressão é adiabático e reversível, isto é, é isentrópico, veja a figura. Assim, se o processo ocorre em regime permanente e se W é o trabalho realizado sobre o VC,

Os estados, representados por números, 1 e 2, estão nas figuras 21 e 22.

As propriedades do refrigerante em 2 são conhecidas desde que se fixe a pressão de condensação, pois o processo é isentrópico.

Condensador e Evaporador >> Modelo Ideal do Condensador e do Evaporador. As premissas são:

a) Regime permanente;

- b) Só existe trabalho de escoamento (incluído na entalpia);
- c) Só existe um fluxo de entrada e um fluxo de saída, $m_e = m_s = m$;
- d) Variações de energia cinética e potencial são desprezíveis frente à variação da entalpia, e
- e) A pressão é constante.

Válvula de Expansão >> Modelo Ideal da Expansão

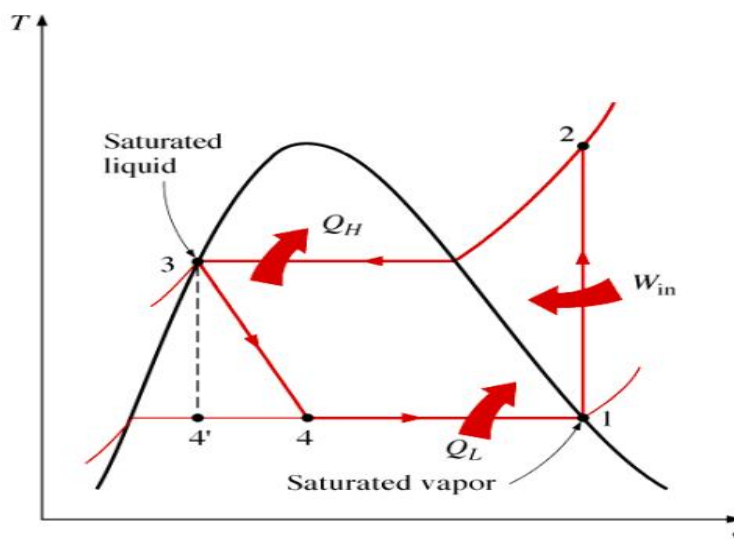
As premissas são:

- a) Regime permanente;
- b) Processo adiabático;
- c) Só existe um fluxo de entrada e um fluxo de saída, $m_e = m_s = m$;
- d) Variação de energia potencial é desprezível
- e) Variação de energia cinética pode ser desprezível.

Consequentemente, é irreversível pois não é isoentrópico (volte ao diagrama de *Mollier* para verificar): isto é, um processo adiabático isoentálpico não é isoentrópico (e não é reversível).

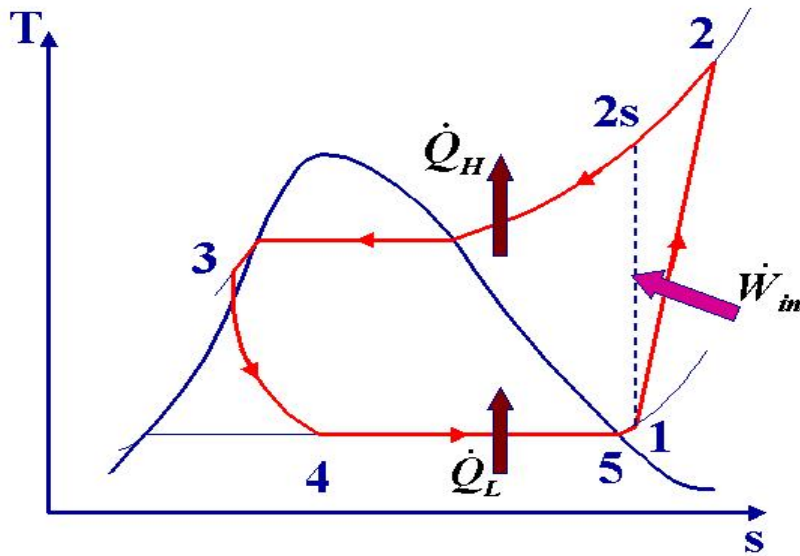
A representação esquemática do ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor no diagrama *T versus s* está nas figuras abaixo:

Figura 23: Ciclo ideal de compressão de vapor, diagrama *T x s*



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

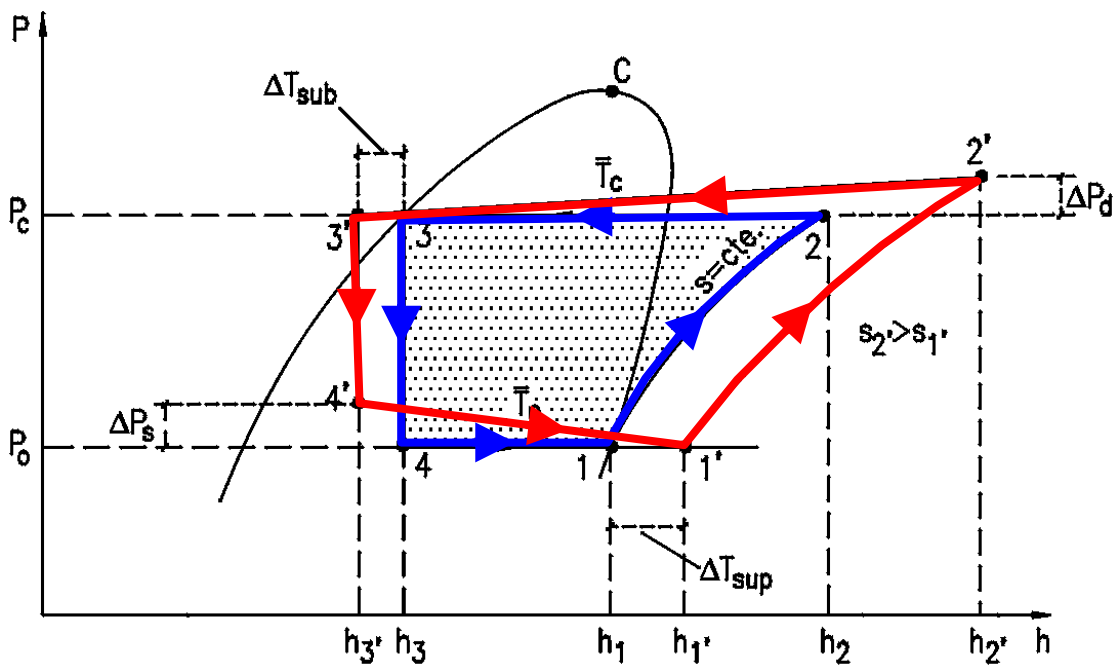
Figura 24 - Ciclo real de compressão de vapor, diagrama T x s



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Diferenças entre os ciclos ideal e real de refrigeração por compressão de vapor no diagrama P versus h (Mollier). Figura 25.

Figura 25 - Diferenças entre os ciclos ideal e real de refrigeração por compressão de vapor no diagrama P versus h (Mollier)



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Em um ciclo de refrigeração, o objetivo é a remoção de calor do ambiente a ser refrigerado. Assim, seu COP – Coeficiente de Performance, isto é, *Coeficient of Performance*, é definido como sendo a razão entre o calor retirado e o trabalho realizado:

O COP depende:

- a) Da temperatura de evaporação (vaporização);
- b) Da temperatura de condensação
- c) Propriedades (*funções de estado*) do refrigerante na sucção do compressor, e
- d) De todos os componentes do sistema: compressor, condensador, etc.

4 SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR

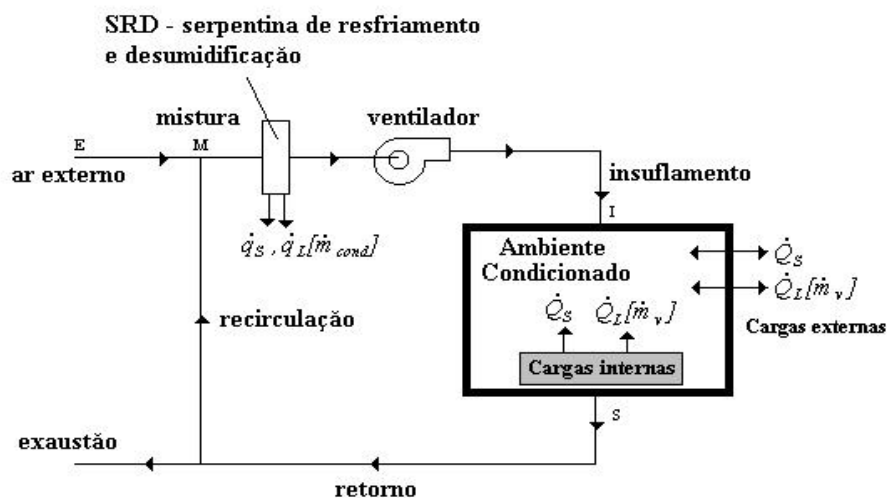
Neste parte do trabalho será apresentado os sistemas de ar condicionado para conforto e seus equipamentos, com ênfase aos usados em controle de temperatura e conteúdo de umidade em ambientes condicionados por resfriamento. Seus esquemas simplificados e processos psicrométricos correspondentes serão apresentados e quantificados.

Os processos psicrométricos auxiliam a análise termodinâmica dos sistemas de climatização, pois quantificam as taxas de transferência de calor e umidade (injeção ou remoção de vapor d'água) envolvendo o ar em circulação nos vários pontos do sistema. As taxas de transferência de calor sensível estão associadas com as variações de temperatura do ar, enquanto as de calor latente com as variações de umidade absoluta.

4.1 Sistema básico ar condicionado para conforto

Na figura 26 apresenta o esquema de um sistema de zona térmica única e vazão de ar constante usado em condicionamento de ar para conforto. A radiação solar incidente e as cargas internas impõem sempre ganhos de calor ao ambiente condicionado. A transmissão de calor pela estrutura da edificação devido a diferença de temperatura e a energia associada à infiltração e/ou exfiltração de ar, podem representar ganhos e/ou perdas para o ambiente condicionado.

Figura 26 - Esquema de um sistema de zona térmica única e vazão de ar constante



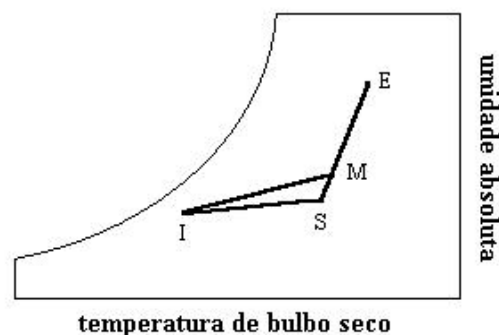
Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

As taxas de transferência de calor na serpentina de resfriamento e desumidificação não podem ser calculadas considerando somente as cargas térmicas associadas ao ambiente condicionado. Cargas sensível e latente do ar exterior e de outros componentes de carga térmica também devem ser considerados. Fatores como ganhos de calor dos ventiladores de insuflamento e retorno, ganhos ou perdas de calor nos dutos que conduzem o ar, fugas de ar nos dutos e/ou na fronteira do espaço condicionado, tipo de sistema de retorno de ar, e as condições atuais existentes no ambiente em contraste com as que existirão depois da climatização devem ser observados. Todos esses fatores estão interrelacionados para estabelecer o tamanho dos equipamentos e o arranjo apropriado do sistema.

Em sistemas de condicionamento de ar para conforto a maior parte do ar insuflado no ambiente condicionado é recirculado, ou seja, retorna ao condicionador, o restante sai pela exaustão. O ar recirculado mistura-se ao ar externo de ventilação e passa no condicionador, onde é resfriado e desumidificado para ser insuflado no ambiente. O ar externo de ventilação renova o ar do ambiente condicionado.

A Figura 27 mostra os processos psicrométricos de um sistema típico para resfriamento de verão. Neste caso, o ar externo E mistura-se com o ar recirculado em S, atingindo a condição de mistura M. Em seguida passa pela serpentina onde é resfriado e desumidificado atingindo a condição I, para depois ser reintroduzido no ambiente condicionado. A vazão de ar insuflado deve ser combinada com a condição I de tal modo que as cargas internas e externas sejam removidas, a fim de manter uma determinada condição de projeto S no ambiente condicionado.

Figura 27 - Processos psicrométricos de um sistema típico para resfriamento de verão



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

4.2 Sistemas Multizonas

Uma zona térmica compreende uma sala, um conjunto de salas, um andar, parte da edificação ou mesmo toda a edificação cuja temperatura do ar é controlada por um único termostato. Os fatores de calor sensível em ambientes da mesma zona térmica são semelhantes. Em edificações com várias zonas térmicas é comum usar um *sistema central* para atender às diversas zonas.

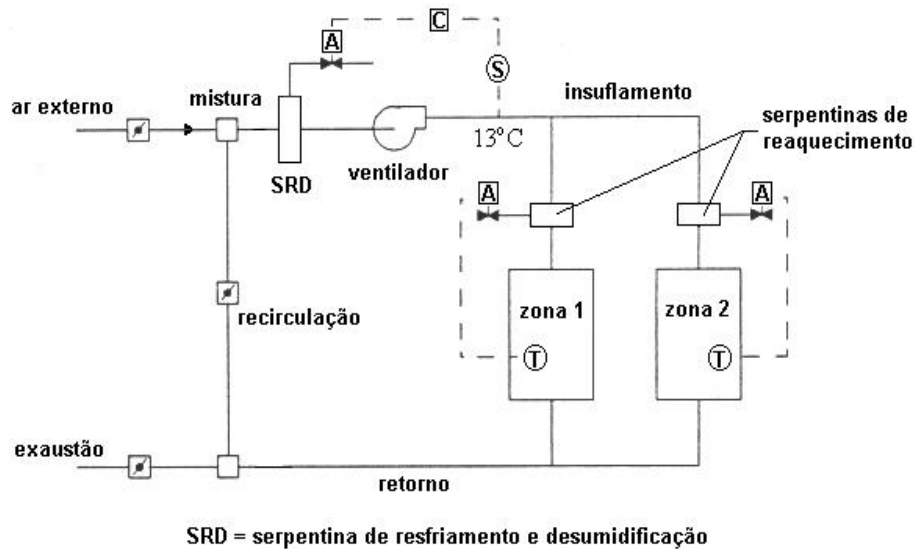
São usados vários arranjos de rede de dutos de distribuição e retorno de ar, de localização dos equipamentos de refrigeração e estratégias de controle. Os mais comuns são: vazão de ar constante (VAC) com um duto e aquecimento terminal, vazão de ar constante com dois dutos e caixa de mistura de insuflamento e sistemas de vazão de ar variável (VAV).

4.2.1 Sistemas VAC (Vazão de Ar Constante) com aquecimento terminal

A Figura 28 mostra seu esquema. As zonas térmicas 1 e 2 são mantidas em temperaturas diferentes controladas por termostatos individuais. Todo o ar na condição de mistura é resfriado até cerca de 13 °C (para garantir suficiente desumidificação) e a condição de insuflamento em cada zona é obtida na serpentina de aquecimento comandada pelo termostato da zona correspondente. A serpentina de aquecimento pode ser de água quente ou a vapor. Baterias de resistências elétricas também são usadas. As vantagens do sistema são: os dutos de insuflamento ocupam pouco espaço e o controle da temperatura em cada zona é feito com precisão, sob condições de carga variadas. Para um controle mais apurado de umidade nas zonas são instalados umidificadores depois das serpentinas de aquecimento.

Nesse caso, um controle do umidificador é usado em cada zona. As desvantagens residem no consumo elevado de energia tanto no equipamento de refrigeração quanto nas serpentinas de aquecimento. Este consumo diminui se a temperatura de insuflamento for elevada a ponto de evitar a instalação ou promover a desativação de uma (ou várias) serpentina(s) de aquecimento. Outro modo de reduzir esse consumo é realizar o aquecimento por meio de energia recuperada de um ponto qualquer do próprio sistema (p.ex: condensador), ou de outro sistema da edificação (p.ex: iluminação artificial).

Figura 28 - Sistemas Vazão de Ar Constante com aquecimento terminal



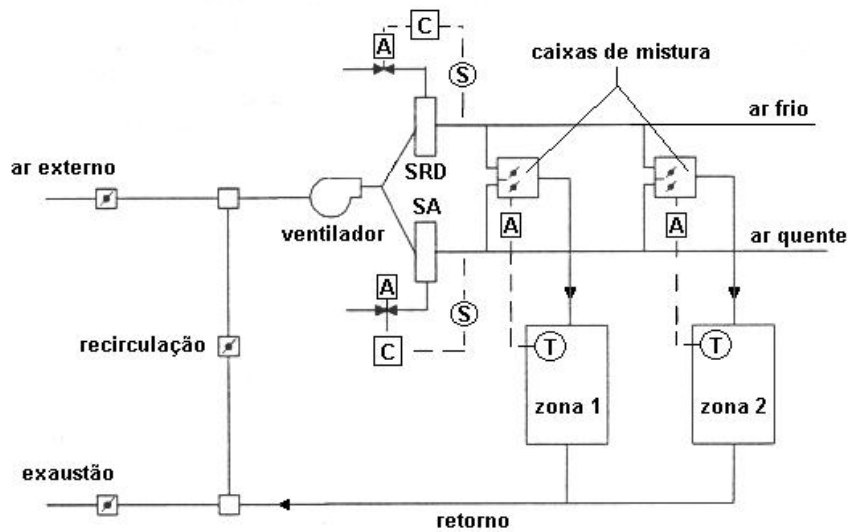
Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

4.2.2 Sistemas VAC (Vazão de Ar Constante) com dois dutos e caixa de mistura

A Figura 29 mostra o esquema do sistema com vazão de ar constante. Depois da caixa que mistura ar externo e de recirculação o fluxo de ar é bifurcado. Parte da vazão atravessa a serpentina de resfriamento e o restante atravessa a de aquecimento. O ar resfriado e o ar aquecido são conduzidos por dutos separados. O termostato de cada zona controla uma caixa de mistura na qual a proporção exata de ar quente e de ar frio é admitida, de modo a obter a temperatura de insuflamento adequada em cada zona térmica.

Este sistema responde muito bem às variações de carga térmica em cada zona, e pode fornecer simultaneamente resfriamento em algumas zonas e aquecimento em outras. Uma desvantagem desse sistema é a necessidade de duas redes de dutos, cada uma com dimensões suficientes para comportar a vazão total de ar. Como no sistema com aquecimento terminal, neste também ocorrem resfriamento e aquecimento simultâneos, reduzindo a economia de energia. Em períodos de temperatura externa elevada a serpentina de aquecimento é desativada resultando em economia de energia.

Figura 29 - Sistemas Vazão de Ar Constante com dois dutos e caixa de mistura



SRD = serpentina de resfriamento e desumidificação
SA = serpentina de aquecimento

Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

4.2.3 Sistemas VAV (Vazão de Ar Variável)

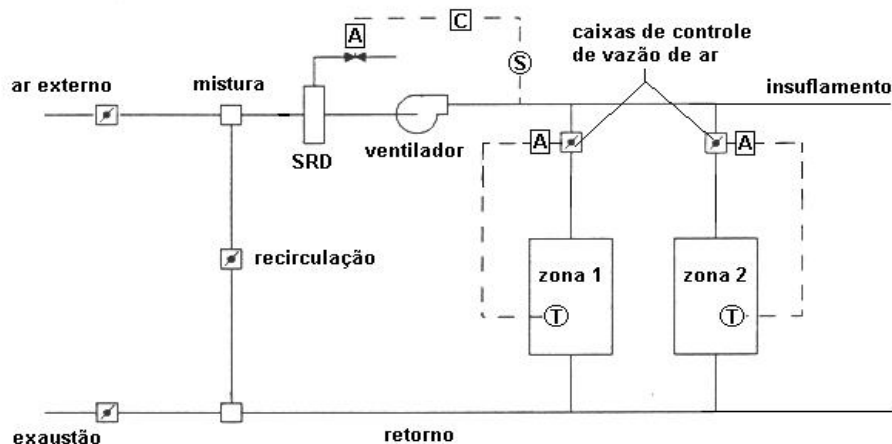
Os sistemas VAV consomem muita energia mesmo em cargas parciais baixas. Uma alternativa é o sistema VAV (vazão de ar variável). Dois tipos de configurações merecem destaque: (a) VAV para resfriamento e (b) VAV com aquecimento terminal. A Figura 30 mostra o sistema VAV para resfriamento. Uma serpentina é usada para resfriar e desumidificar o ar. Um termostato atua sobre uma caixa de controle de vazão de ar, controlando a vazão necessária em função da carga térmica em cada zona.

Quando ocorre redução da carga térmica a vazão de ar é proporcionalmente reduzida. Em conseqüência, a taxa de extração de calor na serpentina e o consumo de energia são reduzidos. Uma desvantagem desse sistema ocorre em períodos de cargas térmicas muito baixas, pois a redução excessiva da vazão de ar insuflado provoca distribuição de ar e/ou ventilação deficiente.

Para evitar problemas com a redução excessiva da vazão de ar insuflado, o sistema anteriormente explicado é modificado pela instalação de serpentinas de aquecimento terminal em cada zona e o resultado é mostrado na Figura 31. Nesse caso, o termostato da zona atua e a vazão de ar é reduzida até 20 a 30 % da vazão máxima. Daí em diante a vazão se mantém constante e a serpentina de aquecimento terminal é ativada. O sistema

VAV apresenta a mesma desvantagem em relação ao consumo de energia na serpentina de aquecimento terminal que apresentava o sistema VAC. Entretanto, nos sistemas VAV as serpentinas de aquecimento terminal são ativadas somente em vazões parciais muito baixas, por isso, o aquecimento necessário é menor do que no sistema VAC.

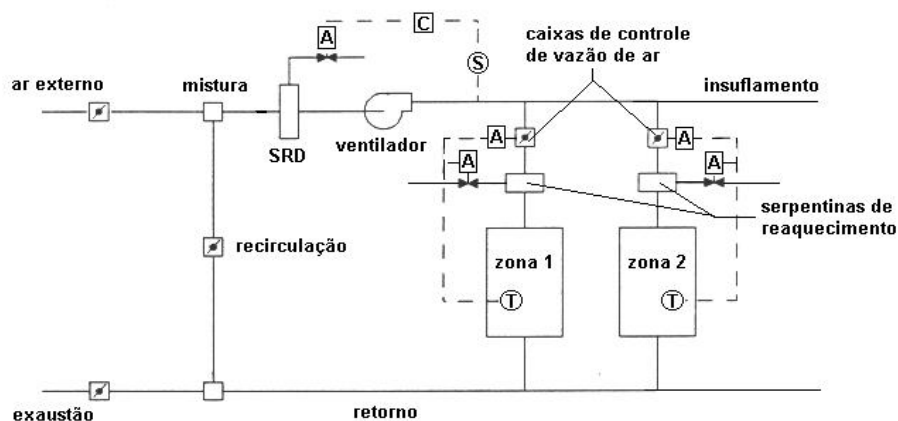
Figura 30 - Sistema Vazão de Ar Variável para resfriamento



SRD = serpentina de resfriamento e desumidificação

Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Figura 31 - Sistema Vazão de Ar Variável para resfriamento modificado pela instalação de serpentinas de aquecimento terminal em cada zona



SRD = serpentina de resfriamento e desumidificação

Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

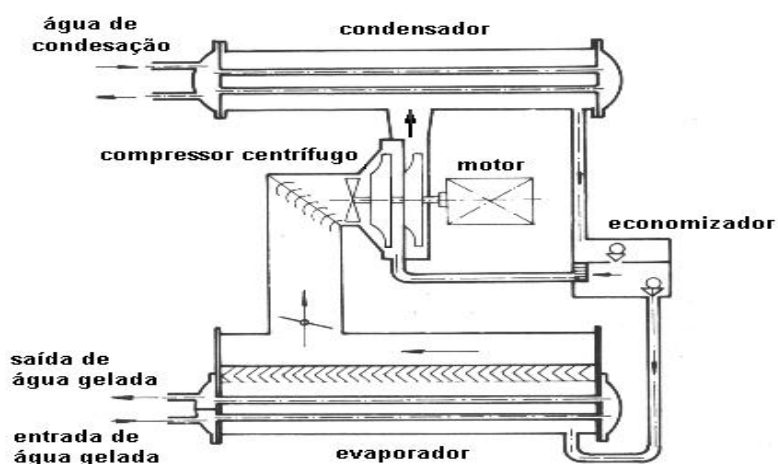
4.3 Sistemas de água gelada

Nos sistemas de água gelada, o resfriador de água (*chiller*) é centralizado, ou seja, está localizado numa casa de máquinas. O evaporador é do tipo tubo-e-carcaça e o condensador pode ser a ar ou à água. A água gelada é obtida e distribuída aos pontos de resfriamento por tubulações termicamente isoladas. O ar do ambiente condicionado é resfriado pelo refrigerante secundário em unidades denominadas serpentina-ventilador (*fan-coil*).

As vantagens desse sistema são o pouco espaço físico requerido e o custo inicial relativamente baixo. Entretanto, esses sistemas não possuem controle de umidade e a ventilação é incerta, embora sejam previstas aberturas para captação de ar externo em cada unidade serpentina-ventilador. Essas aberturas são projetadas com muito cuidado levando em conta a pressão do vento e o *efeito chaminé*. A serpentina de cada *fan-coil* possui um dreno de condensado que exigem cuidados de manutenção que não existiriam se a desumidificação fosse feita numa única serpentina centralizada.

A Figura 32 apresenta o esquema de um resfriador de água com trocadores de calor de casco-tubos e compressor centrífugo. A água gelada resfriada no evaporador é bombeada e passa por dentro dos tubos aletados da serpentina do *fan-coil*, instalado no ambiente condicionado ou próximo dele, que é mostrado na Figura 33.

Figura 32 - Esquema de um resfriador de água com trocadores de calor de casco-tubos e compressor centrífugo

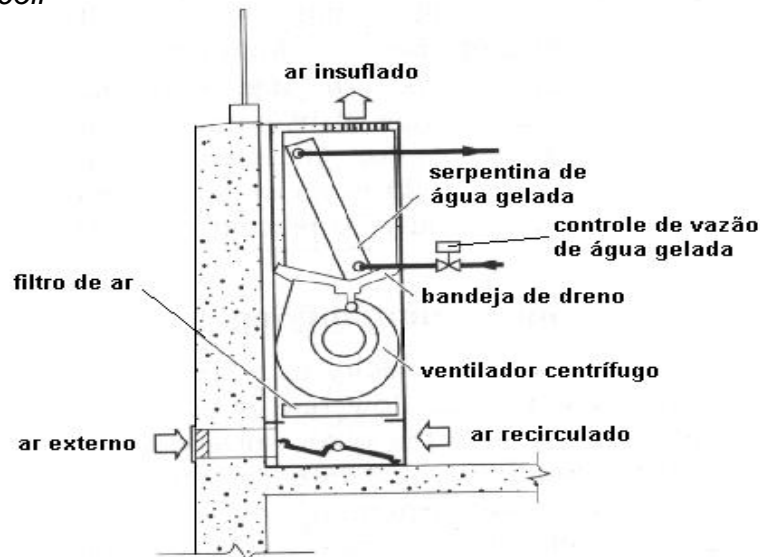


Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

O ar do ambiente condicionado é movimentado pelo ventilador centrífugo e uma

abertura conectada ao ar externo fornece a ventilação.

Figura 33 - A água gelada resfriada no evaporador bombeada por dentro dos tubos aletados da serpentina do *fan-coil*



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

4.4 Sistemas unitários

São constituídos de uma carcaça metálica ou plástica, dentro das quais são montados em fábrica os elementos constituintes do ciclo de refrigeração. Geralmente, apresentam algumas das seguintes características: montagem simples ou dividida (*split*); condensação a ar, a água ou evaporativo; instalação em pisos, paredes e forros e insuflamento de ar tratado com ou sem dutos. Quando usados em sistemas multizona, cada zona é atendida por seu próprio equipamento. O conceito de equipamento unitário está ligado ao atendimento de ambientes relativamente pequenos. Entretanto, em algumas situações envolvendo ambientes grandes são mais vantajosos do que os sistemas centrais. Cargas térmicas na faixa de 2 kW (0,5 TR) a 100 kW (25 TR) podem ser atendidas com sistemas de simples ou de múltiplas unidades. Estes últimos, geralmente apresentam as seguintes vantagens quando comparados aos sistemas centrais:

- a) Controle individual simples e barato de cada ambiente;
- b) Distribuição individual de ar em cada ambiente, geralmente com ajuste simples e conveniente;
- c) Ventilação individual de cada ambiente;
- d) Desempenho garantido pelo fabricante;
- e) Dados de desempenho e certificação disponíveis em catálogos;

- f) Instruções do fabricante simplificam e sistematizam as instalações através da repetição de tarefas;
- g) Somente uma zona é afetada no caso de defeitos no condicionador;
- h) Ocupam pouco espaço;
- i) Disponibilidade e rapidez de instalação;
- j) Baixo custo inicial;
- k) Assistência técnica do fabricante que fornece informações sobre aplicação, instalação manutenção e serviços;
- l) Equipamentos que atendem ambientes desocupados podem ser desligados sem afetar os que estão ocupados.

E apresentam as seguintes desvantagens:

- a) O consumo de energia pode ser superior ao correspondente sistema central;
- b) Desempenho limitado pois estão fixados à vazão de ar, ao tamanho da serpentina de resfriamento e desumidificação e do condensador;
- c) Geralmente, não permitem um controle muito preciso da umidade absoluta, exceto quando os equipamentos têm uma finalidade específica, como os usados para salas de computadores;
- d) Nem sempre é possível utilizar economizadores no ar externo captado;
- e) O controle de distribuição do ar tratado pode ser limitado;
- f) Os níveis de ruído em operação podem ser elevados;
- g) A capacidade de ventilação é determinada pelo projeto do fabricante do equipamento;
- h) As opções de filtros são limitadas;
- i) A manutenção pode ser dificultada pelo elevado número de peças nos equipamentos e seus posicionamentos.

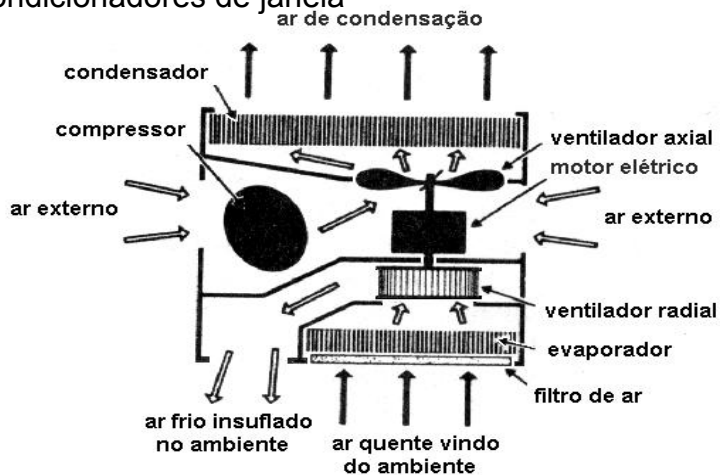
4.4.1 Condicionadores de janela

São equipamentos unitários de pequeno porte para montagem em janelas ou paredes, que fazem o resfriamento insuflando o ar tratado diretamente no ambiente ou através de pequenas redes de dutos, com perda de carga máxima de 1.200 mm.H₂O (11,8 kPa). Sua capacidade de refrigeração varia de 1,2 kW (3.000 Btu/h) até 10,5 kW (36.000 Btu/h).

O condicionador de janela resfria, desumidifica, filtra e circula o ar no ambiente. Pequenas aberturas de ventilação podem ser usadas para captar ar externo. Alguns

possuem um ciclo reverso para aquecer o ambiente, quando necessário. Um esquema do condicionador de janela é mostrado na Figura 34. O ar quente vindo do ambiente atravessa a serpentina de resfriamento cedendo calor sensível e latente. O ar tratado é movimentado por um ventilador radial para ser insuflado no ambiente. O ar de condensação é movimentado através do condensador por um ventilador axial, resfriando antes o compressor hermético.

Figura 34 - Condicionadores de janela



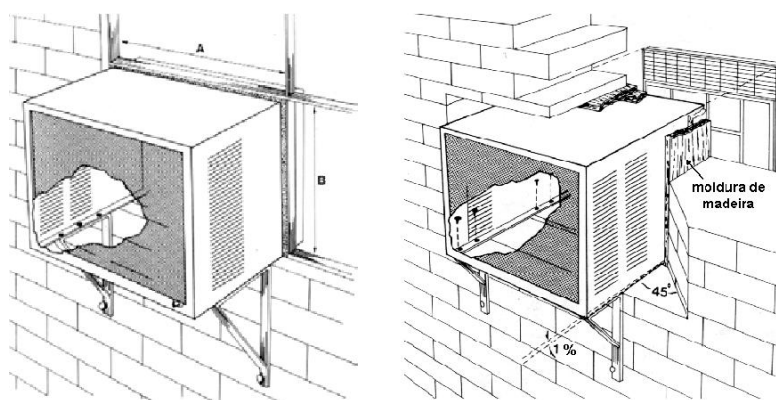
Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

O projeto do condicionador de janela é baseado em um ou mais dos seguintes critérios, que geralmente limitam a liberdade do projetista de ar condicionado: menor custo inicial, menor custo operacional (maior eficiência), baixo nível de ruído, tamanho físico e forma da carcaça, amperagem e peso. O projeto básico inclui seleção criteriosa de um grupo de componentes consistindo de um evaporador, um condensador, um compressor, um ou mais motores de ventilador e dispositivos de expansão, geralmente são usados um ou mais tubos capilares como dispositivos de expansão.

A instalação de um condicionador de janela é muito simples, como mostra a Figura 35. As dimensões da abertura permitem o encaixe perfeito do caixilho de madeira onde o aparelho é fixado. As venezianas laterais do condicionador devem estar desobstruídas e em contato com o ar externo, para que haja boa movimentação de ar para arrefecimento do compressor e do condensador. Paredes muito espessas devem ser chanfradas exteriormente. Para eliminar a deposição de condensado na base do aparelho, o mesmo deve ser instalado com uma inclinação de 1% na direção do lado externo e um tubo de drenagem deve ser providenciado. Um vedante de espuma de poliuretano colocado na

fresta entre carcaça e a moldura evita a passagem de ar entre os ambientes interno e externo.

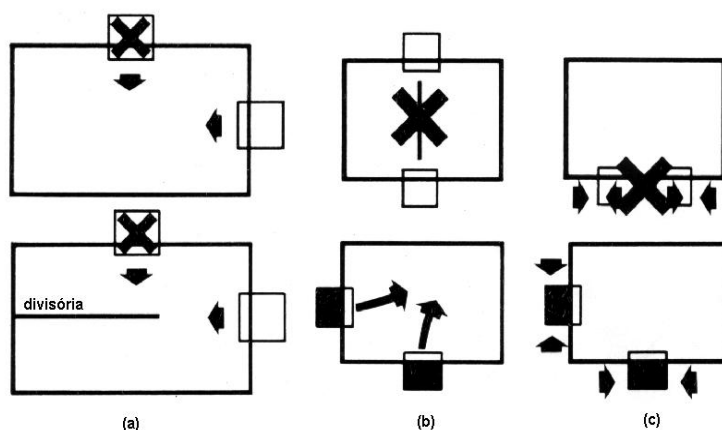
Figura 35 - Instalação de um condicionador de janela



Fonte : Internet – Wikipedia.

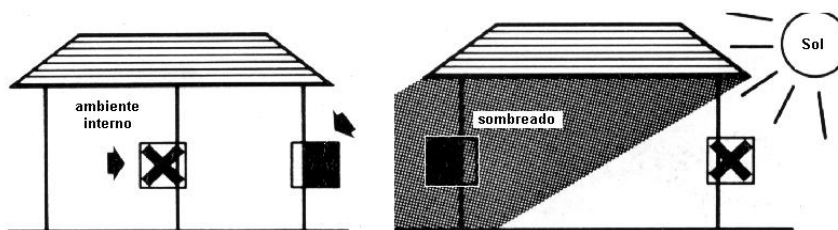
O melhor posicionamento do condicionador de janela é frontal à maior dimensão do ambiente condicionado, Figura 36. Se existir mais de uma unidade instalada no mesmo ambiente, o fluxo de ar de uma não deve interferir no da outra. Além disso, a movimentação de ar externo de condensação não deve ser localizada em ambientes internos, em locais com incidência direta de raios solares ou próximas a fontes geradoras de calor, como mostra a Figura 37. A altura de instalação do aparelho deve considerar o acesso fácil ao painel de comando e manutenção, por isso recomenda-se afastá-los de cantos.

Figura 36 - Melhor posicionamento do condicionador de janela



Fonte : Internet – Wikipedia.

Figura 37 - Melhor posicionamento do condicionador de janela outra vista



Fonte : Internet – Wikepedia.

4.4.2 Condicionadores de gabinete

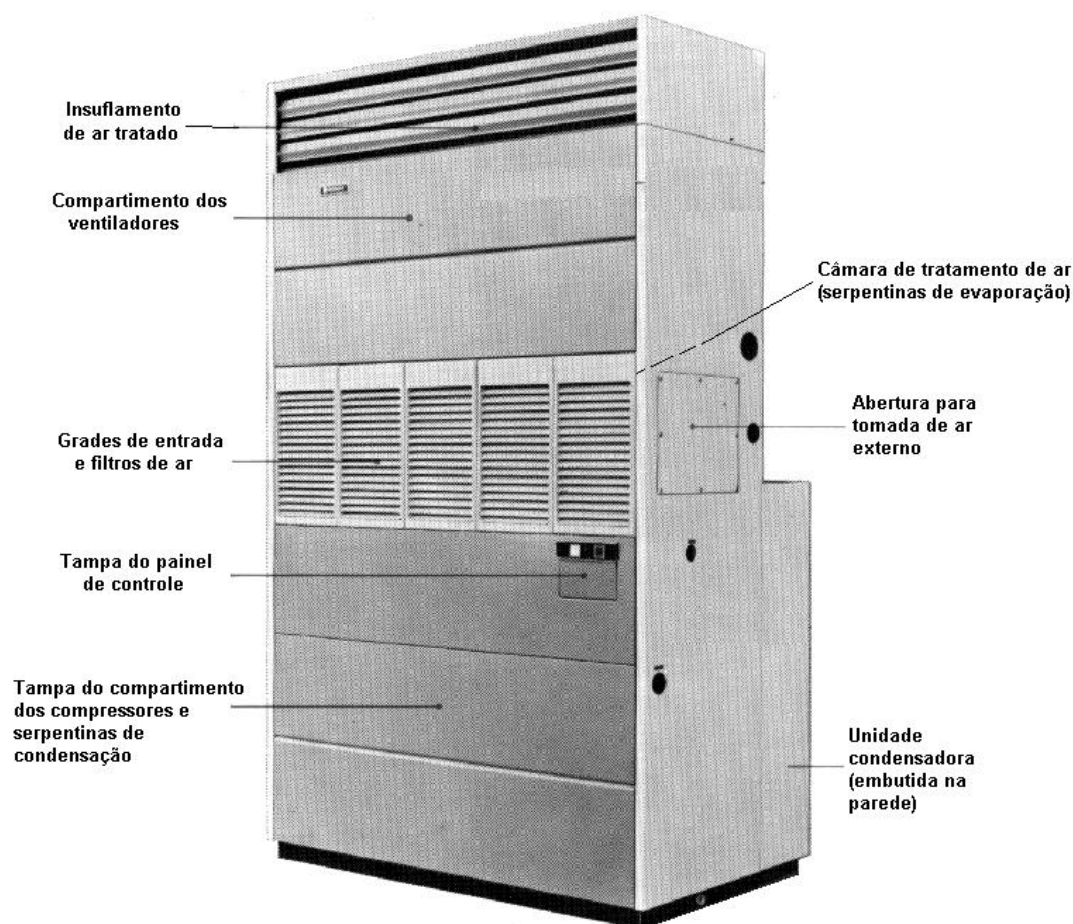
Os condicionadores de gabinete são equipamentos unitários, pois constituem um arranjo compacto de serpentinas de resfriamento, compressores, condensadores, válvula de expansão termostática, filtros e outros dispositivos auxiliares montados em fábrica.

A Figura 38 mostra um condicionador de gabinete resfriado a ar. Os equipamentos unitários são divididos em três categorias gerais: residenciais, comerciais leves e comerciais. O conceito geral de projeto é o mesmo para as três categorias. Os compressores usados nos condicionadores de gabinete são herméticos: alternativos, rotativos ou *scroll*. O motor elétrico de acionamento e o compressor estão dentro de uma carcaça metálica selada por soldagem. O sistema de controle é do tipo *on-off* (liga-desliga), o que causa redução na capacidade de resfriamento, principalmente nos condicionadores em que as seções de evaporação e de condensação estão localizadas separadamente. No condensador, o fluido refrigerante cede calor para um outro fluido, que pode ser o ar ou a água, sendo esta última proveniente de uma torre de arrefecimento. Se a troca de calor for com o ar o condensador é do tipo tubos aletados. Se for com a água o condensador pode ser de dois tipos: tubos concêntricos (*tube-in-tube*) e tubo-carcaça (*shell-and-tube*).

A serpentina de resfriamento (expansão direta) é do tipo tubos aletados. Normalmente, os tubos são fabricados de cobre e as aletas de alumínio. O controle do fluxo de refrigerante é feito por uma válvula de expansão termostática com equalização externa de pressão, que mantém o superaquecimento do vapor refrigerante na saída do evaporador, prevenindo a entrada de líquido no compressor. Os ventiladores de insuflamento são

centrífugos com palhetas voltadas para frente, usadas porque mantêm constante a pressão estática na descarga para uma faixa de vazão relativamente ampla. O acoplamento entre o motor elétrico de acionamento e o eixo do ventilador é feito por um sistema polia-correia, permitindo que a vazão de ar seja ajustada por uma simples troca da polia.

Figura 38 - Condicionador de gabinete



Fonte : Internet – Wikipedia.

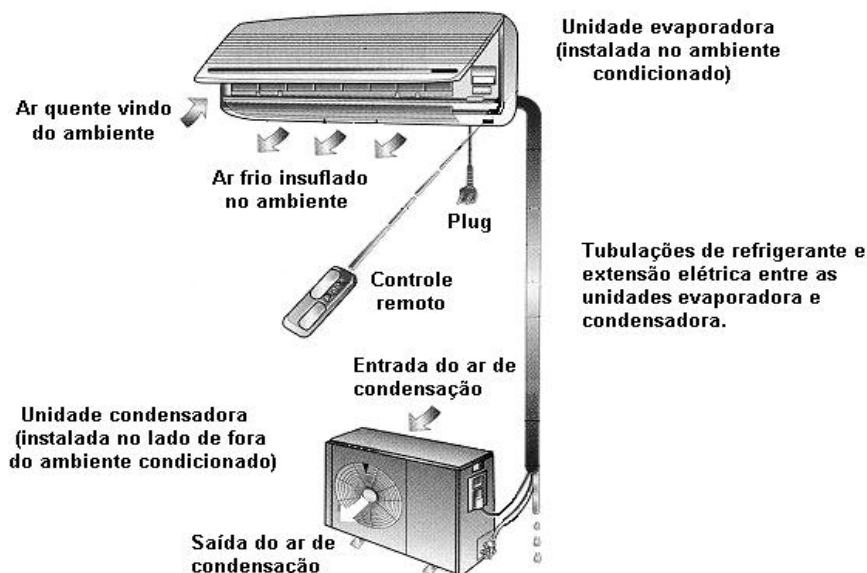
No arranjo mais comum o condicionador é instalado no próprio ambiente condicionado, com insuflamento de ar através de caixa *plenum*, que possui defletores de fluxo para distribuição do ar. A condensação é a ar ou a água.

4.4.3 Condicionadores tipo *split-system*

Nesses aparelhos, as seções de evaporação e de condensação são instaladas separadamente e são conectadas por tubulações de cobre que conduzem o refrigerante entre elas. Além disso, cabos elétricos ligados às unidades controlam o funcionamento do

compressor e dos ventiladores, como mostra a Figura 39. Em aplicações de ar condicionado residencial e comercial, têm substituído os condicionadores de janela dada sua versatilidade de instalação. Além disso, sua instalação é recomendada em edifícios nos quais não foram consideradas durante sua construção a infra-estrutura para sistema de ar condicionado central. A unidade evaporadora instalada no ambiente condicionado fica posicionada na parede, sobre o piso ou ainda embutida no forro ou em outro local adequado, de acordo com seu tipo. Em certos modelos, só uma unidade condensadora é usada com várias evaporadoras com controle individual de temperatura. Alguns aparelhos possuem ciclo reverso, ou seja, realizam também o aquecimento do ambiente. São bastante silenciosos, sendo a média de nível de ruído igual a 54 dB para a unidade condensadora e de 32 dB para a evaporadora.

Figura 39 - Condicionadores tipo *split-system*



Fonte : Internet – Wikipedia.

5 CLIMATIZAÇÃO E CONDICIONAMENTO DO AR

A função dos sistemas de climatização (ar condicionado) é obter, e manter dentro de limites pré-determinados, os parâmetros ambientais: temperatura, umidade relativa, limpeza e velocidade relativa de ar, nível de ruído e diferencial de pressão entre o ambiente condicionado e sua vizinhança. Para obter o efeito desejado, equipamentos de resfriamento e/ou aquecimento, ventiladores, dutos de ar, tubulações de água e acessórios, devem ser instalados de modo conveniente, a fim de que o sistema resultante possa: tratar o ar, ou seja, aquecer ou resfriar, umidificar ou desumidificar, filtrar e purificar o ar; distribuir e insuflar o ar tratado em ambientes condicionados; prover ar externo suficiente para ventilação, ou seja, para renovação de ar; e consumir um mínimo de energia sem comprometer o desempenho.

Os sistemas de ar condicionado são classificados de acordo com a finalidade em: sistemas para conforto e sistemas para processo. As aplicações típicas dos sistemas de ar condicionado para conforto tratam o ar a fim de manter o conforto térmico e preservar a saúde das pessoas durante suas atividades no ambiente condicionado; os de processo tratam o ar para manter o controle de condições adequadas aos processos de fabricação, armazenamento de produtos ou quaisquer outros processos ligados à indústria. As aplicações típicas para conforto e processo são descritas abaixo:

Conforto:

- a) Setor Comercial: Prédios de escritórios, supermercados, lojas de departamentos, shopping centers, restaurantes, etc.
- b) Setor Público: Estádios, bibliotecas, museus, cinemas, igrejas, teatros, salas de concerto, centros de recreação e lazer, etc.
- c) Setor Residencial e de Serviços: Hotéis, Motéis, prédios de apartamentos, residências particulares, etc.
- d) Setor de Transporte: Aeronaves, automóveis, Navios, transporte público (metrô), ferroviário, etc.
- e) Setor de Saúde: Hospitais, centros de recuperação, centros cirúrgicos, unidades de terapia intensiva, etc.

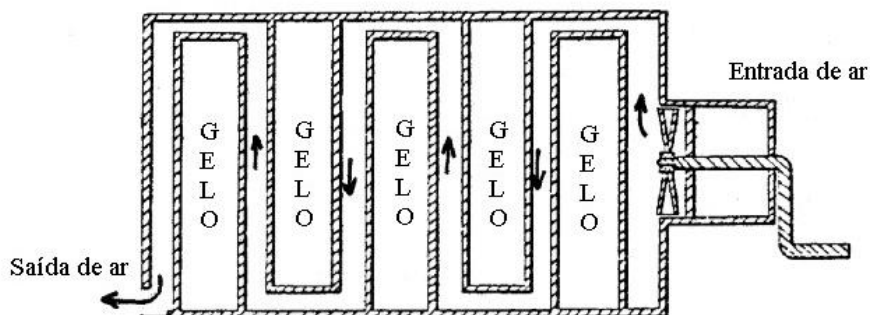
Processos:

- a) Indústria Têxtil: Muitas fibras naturais e/ou manufaturadas são higroscópicas (absorvem umidade), por isso os processos de fabricação a umidade relativa do ambiente deve ser rigorosamente controlada.

- b) Indústria de Eletroeletrônicos: no uso de salas limpas onde a temperatura, a umidade relativa e a granulometria das partículas em suspensão no ar são rigorosamente controladas.
- c) Indústria de mecânica de precisão: a fabricação e a utilização de instrumentos de precisão, geralmente precisam de controle rigoroso da temperatura.
- d) Indústria química e farmacêutica: geralmente os processos de fabricação necessitam de controle de temperatura, umidade relativa e nível de contaminação do ar.
- e) Indústria de Alimentação: na indústria de alimentos perecíveis se congela os mesmos para manter suas qualidades nutritivas. Entrepósitos frigoríficos preservam essa qualidade durante o transporte até os pontos de consumo. São controladas a temperatura e a umidade relativa.

A Figura 40 mostra o esquema de um sistema antigo de condicionamento de ar. Um ventilador sopra o ar sobre barras de gelo. O ar resfriado é insuflado no ambiente que se quer manter em temperatura agradável. Um problema relevante desse tipo de sistema era a umidade elevada do ar ao deixar o banco de gelo, e, com frequência, era necessário colocar o ar em contato com cloreto de cálcio para desumidificar o ar antes de insuflá-lo no ambiente.

Figura 40 - Esquema de um sistema antigo de condicionamento de ar

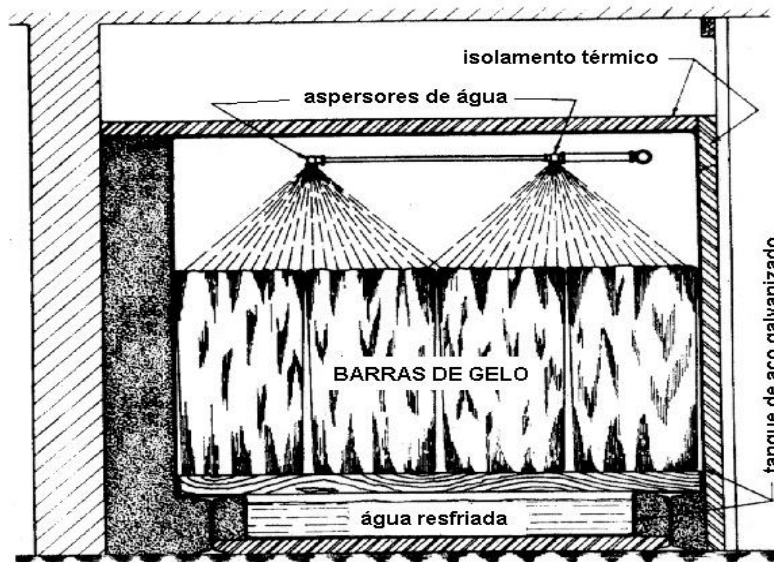


Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

A Figura 41 mostra um sistema de resfriamento de ar em que não há contato direto do ar resfriado com a superfície úmida do gelo. Nesse caso, não havia problema de umidade elevada na corrente de ar insuflado, pois o contato térmico entre a água (bombeada através de tubulações) e o ar se dava numa serpentina, que podia inclusive desumidificar o ar. Entre os anos de 1920 e 1940 vários desses sistemas foram instalados nos Estados Unidos. O

gelo era repostado quando já tinha derretido de 80 a 90 % do volume total.

Figura 41 - Sistema de resfriamento de ar em que não há contato direto do ar resfriado com a superfície úmida do gelo



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

Em 1901, *Willis H. Carrier* (1876–1950) graduou-se na *Universidade de Cornell* e foi trabalhar na *Buffalo Forge Company*. Ele observou que um sistema de climatização não poderia ser projetado e instalado de modo satisfatório, devido à imprecisão dos dados e fórmulas disponíveis para os cálculos. Para obter curvas de desempenho de equipamentos e estabelecer bases teóricas de cálculo confiáveis, ele desenvolveu as primeiras pesquisas de laboratório na indústria de ventilação e aquecimento.

Em 1902, projetou e instalou numa indústria norte- americana de litografia um sistema de climatização que permitia controle de aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação do ar, para resolver o problema da interferência de cores nos impressos gráficos sobre embalagens de papelão, que variavam de tamanho, devida às mudanças sazonais nas condições climáticas.

Em 1904, *Carrier* adaptou bocais atomizadores e desenvolveu eliminadores de gotas para os lavadores de ar, para controlar a temperatura de ponto de orvalho por meio de aquecimento ou resfriamento nos sistemas com recirculação de água. Em 1911, num encontro da *ASME* (*American Society of Mechanical Engineers*), apresentou seu artigo denominado "*Rational Psychrometrics Formulae*" no qual relacionava as temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e ponto de orvalho do ar com cargas térmicas sensível, latente e

total, e, além disso, estabelecia a teoria de saturação adiabática. As fórmulas e a carta psicrométrica então apresentadas, tornaram-se a base de todos os cálculos fundamentais em condicionamento de ar, proporcionando um crescimento significativo do emprego desses sistemas em ambientes industriais.

Em 1922, a máquina de refrigeração centrífuga de *Carrier*, juntamente com os refrigerantes que evaporam em baixa pressão, tornou atrativos os resfriadores de água para aplicações industriais e comerciais de porte médio e grande, tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Embora os sistemas de climatização para conforto já fossem instalados desde 1890, com o trabalho de *Carrier* tomaram um impulso extra. Nenhum grande progresso foi feito na área de refrigeração mecânica até a virada do século. Mesmo assim, diversas instalações de condicionamento de ar projetadas cientificamente entravam em funcionamento. Em 1902, *Alfred Wolff* projetou e instalou um sistema de 400 TR para o *New York Stock Exchange*, que funcionou por quase 20 anos.

Em 1908, o *The Boston Floating Hospital* foi o primeiro hospital a ser equipado com um sistema moderno de condicionamento de ar. Concluído em 1928, o *The Milam Building*, um edifício de escritórios, foi projetado e construído em San Antônio, Texas, seguindo especificações para uso de um sistema de condicionamento de ar para conforto. Em 1924, o sistema de controle por *by-pass* de ar inventado por *L. Logan Lewis*, resolveu o problema de controle de umidade do ambiente condicionado em cargas térmicas parciais.

No final dos anos 20, a *Frigidaire* lançou o primeiro ar condicionado de janela. Entretanto, ainda havia um fator restritivo: o grau de periculosidade elevado dos refrigerantes usados na época, que inviabilizavam técnica e economicamente a fabricação de sistemas de refrigeração seguros.

A solução surgiu em 1930, quando *Thomas Midgley Júnior* apresentou o diclorodifluormetano (CFC-12), com características de segurança e periculosidade aceitáveis para uso nos compressores alternativos, em aplicações comerciais e residenciais de portes médio e pequeno. Isto logo possibilitou que os fabricantes produzissem condicionadores de ar em massa que usavam o CFC-12.

Esses refrigerantes clorofluorados eram também usados em compressores centrífugos, e necessitavam da metade do número de rotores para ter o mesmo desempenho que tinham quando usavam outros refrigerantes. *Walter Jones* introduziu as aletas nos trocadores de calor do tipo casco-tubos, permitindo grande economia de espaço e material.

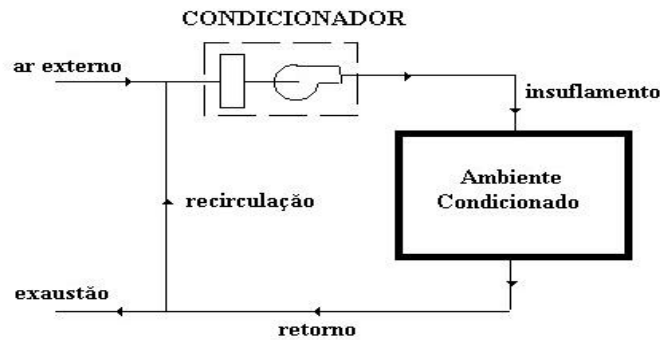
Outras descobertas dos anos 30: o primeiro sistema de condicionamento de ar residencial com o ciclo de refrigeração por absorção usando brometo de lítio foi introduzido em 1931 por *Servei*; unidade de resfriamento por ejeção de vapor para vagões de passageiros foi introduzida por *Carrier* em 1931; a *General Electric* introduziu a bomba de calor na metade dos anos 30; o filtro de ar eletrostático foi desenvolvido pela *Westinghouse*; *Charles Neeson* da *Airtemp* inventou o compressor radial de alta-velocidade e *W.B. Connor* descobriu que os odores do ar podem ser removidos usando carvão ativado.

Com o final da II Guerra Mundial a tecnologia do condicionamento de ar avançou rapidamente: bombas de calor com rejeição para o ar; resfriadores de água de grande porte usando absorção com brometo de lítio; condicionadores de ar automotivos; condicionadores de ar unitários e de gabinete (*self-contained*); pequenos resfriadores de água que usavam sistemas de absorção de amônia instalados externamente; purificadores de ar; unidades de resfriamento de cabinas de aeronaves usando ciclo de expansão de ar; etc.

Atualmente, o melhoramento de produtos já existentes e o desenvolvimento de novos produtos incluem: sistema central de duto-duplo para edifício de escritórios; introdução de compressores alternativos herméticos em unidades de grande capacidade de refrigeração; retomada do aquecimento usando energia elétrica; uso da bomba de calor para recuperar energia em grandes edifícios; aplicação de filtros eletrostáticos em sistemas residenciais; estudo de terminais de volume de ar variável para uso com condicionadores de gabinete; instalações centrais de aquecimento e de resfriamento para *shopping-centers*, universidades, edifícios de apartamentos e de escritórios; prevenção da Síndrome dos Edifícios Doentes (SED's); controles digitais computadorizados; etc.

A Figura 42 mostra o esquema de um sistema básico de condicionamento de ar. A radiação solar incidente e as cargas internas impõem sempre ganhos de calor ao ambiente, que deve ser mantido em condições de temperatura e umidade compatíveis com o conforto e com as atividades que nele se desenvolvem. A transferência de calor através dos componentes da estrutura da edificação devida à diferença de temperatura e a energia associada à infiltração e/ou exfiltração de ar, podem representar ganhos e/ou perdas de calor para o ambiente condicionado.

Figura 42 - Esquema de um sistema básico de condicionamento de ar



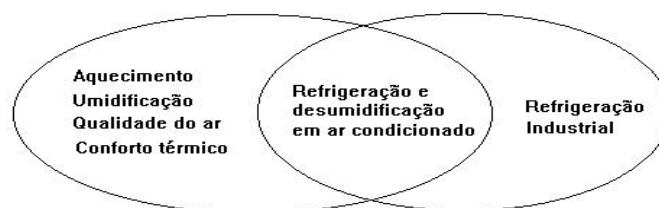
Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

As taxas de remoção de calor no condicionador não podem ser calculadas considerando somente as cargas térmicas associadas ao ambiente condicionado. As parcelas sensível e latente do ar exterior e de outros componentes da carga térmica também devem ser levadas em consideração. Devem ser observados itens como: ganhos de calor dos ventiladores de insuflamento e retorno, ganhos ou perdas de calor nos dutos que conduzem o ar, fugas de ar nos dutos e/ou na fronteira do espaço condicionado, tipo de sistema de retorno de ar, e as condições atuais existentes no ambiente em contraste com as que existirão depois da climatização. Todos esses fatores estão relacionados para estabelecer o tamanho dos equipamentos e o arranjo do sistema.

As áreas de refrigeração e ar condicionado são correlatas, embora cada uma tenha seu campo de atuação específico, como mostra a Figura 43. A aplicação mais comum da refrigeração é em sistemas de ar condicionado para conforto ou processo. Os engenheiros podem atuar em pesquisa, desenvolvimento de produtos e equipamentos ou ainda em projetos de sistemas.

Embora um engenheiro possa transitar livremente entre as três áreas distintas, a atuação de firmas comerciais tende a se agrupar quer na área de ar condicionado (conforto) quer na de refrigeração industrial (processo). Nesta última, as temperaturas de trabalho podem chegar a 60°C. Processos que exigem temperaturas inferiores a esta, como instalações de separação de oxigênio e hidrogênio do ar, são objeto de estudo de uma área específica de refrigeração denominada *criogenia*.

Figura 43 - As áreas de refrigeração e ar condicionado



Fonte: livro Refrigeração e Ar Condicionado.

O conceito de climatização surge da necessidade de utilizar-se recursos eletromecânicos com a finalidade de promover condições de conforto para os ocupantes de recintos ou ambientes ditos confinados. Segundo a Portaria 3523 do Ministério da Saúde, o conceito Climatização é definido como: “Conjunto de processos empregados para se obter por meio de equipamentos em recintos fechados, condições específicas de conforto e boa qualidade do ar adequada para o bem estar dos ocupantes.” Esta definição leva em conta apenas o aspecto humanista, porém deve-se lembrar ainda que neste contexto de necessidade de climatização, devem ser incluídos equipamentos, computadores e diversas outras máquinas, uma vez que tais elementos podem ter sua atuação comprometida ao serem submetidos a condições ambientais diferentes daquela para qual foram projetados.

As condições específicas de conforto e boa qualidade do ar mencionadas na definição referem-se principalmente às variáveis de temperatura, umidade, pressão, velocidade, pureza e distribuição entre outras, e a necessidade de estas apresentarem-se em condições adequadas ao bem estar dos ocupantes do recinto. Além das variáveis mencionadas deve-se ter ainda em mente a necessidade de eliminação dos gases, odores e outros contaminantes, deixando o ar “limpo”. Para tal é necessário associar a Ventilação ao processo de climatização de um ambiente. Tecnicamente falando, define-se ventilação como sendo a movimentação do ar no interior das edificações com o intuito de renovar o ar “viciado” e promover a entrada de ar de melhor qualidade.

Os processos de climatização têm como característica, efetuar a mistura de uma parcela de ar do exterior com outra exaurida do ambiente a ser climatizado. Quando uma das partes ou mesmo as duas estiverem em condições inadequadas, fatalmente a qualidade do ar estará comprometida. Como exemplo, tome-se uma quantidade elevada de CO₂ concentrada em uma área de um ambiente onde o insuflamento de ar seja insuficiente para efetuar a diluição do mesmo. Certamente os ocupantes da referida área do ambiente passarão a sentir sintomas indesejáveis, uma vez que a diluição do CO₂ naquela situação apresenta-se de forma insuficiente.

Quando da climatização artificial de ambientes é necessário prover sistemas que protejam os ocupantes e as máquinas de impurezas contidas no ar, provenientes do ar exterior ou produzidas no próprio local. Para tal função são utilizados filtros tanto na tomada de ar na parte externa dos edifícios quanto no interior de dutos de circulação. Estes são responsáveis também pela pureza do ar a ser insuflado no ambiente climatizado. Sistemas projetados com bom programa de manutenção, boa estanqueidade, boas taxas de renovação de ar e ainda associados a sistemas de filtragens com eficiência elevada

apresentam na maioria dos casos, elevada qualidade do ar.

A eficiência de filtragem deve ser determinada em função da alta capacidade de retenção de partículas e da vazão de ar externo de modo a assegurar-se duas condições de contorno bem definidas. A primeira implica em conseguir-se uma boa diluição dos contaminantes de modo que estes atinjam um nível aceitável de contaminação interna em função do número de ocupantes e da atividade desenvolvida. A segunda condição implica em determinar-se a quantidade de ar externo que pode ser reduzida do fluxo inicial, ao se utilizar filtros na recirculação sem prejudicar a qualidade do ar interno. Para estas duas condições é necessário assumir-se que o ar externo esteja em conformidade com as regulamentações ambientais. Outro fator que influencia diretamente na capacidade de filtragem é a estanqueidade do sistema e a limpeza periódica de dutos e filtros.

Um sistema de climatização deverá cumprir as seguintes funções

- a) Arrefecimento – no verão;
- b) Desumidificação – no verão;
- c) Aquecimento – no inverno;
- d) Umidificação – no inverno;
- e) Ventilação – no verão e no inverno;
- f) Filtragem – no verão e no inverno;
- g) Circulação – no verão e inverno.

Estas funções deverão realizar-se:

- a) Automaticamente;
- b) Sem ruídos ou vibrações incômodas;
- c) Com o menor consumo energético possível.

As funções de arrefecimento e de desumidificação realizam-se de forma simultânea nas baterias de refrigeração dos equipamentos de ar condicionado, normalmente no verão ou em outras épocas quentes e úmidas. Uma elevada percentagem de umidade relativa do ar provocará uma sensação de incômodo e de peso. A umidade contida no ar que circula é eliminada por condensação efetuada quando este entra em contacto com a serpentina da bateria de arrefecimento, mantida a uma temperatura inferior à do ponto de orvalho. Em instalações industriais, que obrigam a uma desumidificação em grande escala, podem ser aplicados sistemas separados para o efeito, os quais utilizam agentes absorventes de umidade como a sílica gel.

No inverno, se o ar for aquecido sem se lhe aumentar a umidade, a umidade relativa do mesmo diminui, provocando a secagem das mucosas respiratórias, com os consequentes danos fisiológicos. A função de umidificação de um ar condicionado é, pois, efetuada no inverno através de umidificadores, colocados a entrada das baterias de aquecimento, uma vez que o ar mais quente absorve mais umidade. Existem dispositivos que evaporam a água contida num tabuleiro, por meio de uma resistência elétrica blindada, a qual é controlada por um umidostato de ambiente e de condutas. Nos casos de grandes instalações, recorre-se a baterias umidificadoras que introduzem no ar água pulverizada em pequenas gotículas. Estas baterias, são também chamadas "lavadores de ar" uma vez que também cumprem essa função. Para aplicações de ar condicionado de conforto, salvo em caso de climas muito secos, a experiência demonstra que não é necessário realizar a função de desumidificação, tendo em conta que as próprias pessoas fornecessem uma certa quantidade de umidade ao ambiente. Na verdade, os equipamentos padrão de conforto não trazem incorporados dispositivos de umidificação.

Outros elementos essenciais da Climatização e condicionamento são a filtragem e a ventilação. A função de ventilação consiste na entrada de ar novo exterior, com o fim de renovar permanentemente o ar interior, nas proporções necessárias para se atingir e manter um adequado nível de pureza. Durante o processo de respiração das pessoas, existe o consumo de oxigênio e a emissão de dióxido de carbono, sendo portanto necessária a substituição do ar interior de um local fechado, para evitar que o mesmo fique viciado e com odores. O ar novo e o ar recirculado penetram numa câmara de mistura, onde são misturados, sendo posteriormente tratados e introduzidos no local a ventilar. Alguns sistemas de ar condicionado não reaproveitam e recirculam o ar extraído, usando apenas o ar novo.

Já a função de filtragem é feita pelos filtros e pré-filtros existentes nas unidades de tratamento de ar. Consiste em tratar o ar, através do uso de filtros adequados, com o fim de lhes retirar as poeiras, impurezas e outras partículas em suspensão. O grau de filtragem necessário, dependerá do grau de qualidade do ar interior que se quer obter e do grau de poluição do ar novo. Para a limpeza do ar, empregam-se filtros, que normalmente são do tipo mecânico, os quais são compostos por elementos porosos que obrigam o ar que passa por eles a lá deixar as partículas de poeira que leva em suspensão. Nas aplicações comuns de ar condicionado de conforto, usam-se filtros de poliuretano, de microfibras sintéticas ou de malha de aço ou alumínio embebida em azeite. Em instalações industriais ou laboratoriais

e em outros casos especiais podem ser empregues filtros especiais, muito mais eficientes. Num sistema de circulação de ar condicionado, o primeiro elemento é sempre um filtro, uma vez que o mesmo vai proteger não só o local climatiza, como os próprios equipamentos de ar condicionado.

O sistema de climatização inclui equipamentos de aquecimento, resfriamento e ventilação da edificação: caldeiras, resfriadores (*chiller*), torres de resfriamento, unidades de insuflamento de ar, ventiladores de exaustão, rede de dutos, ventiladores, tubulações de água ou vapor, etc. Um projeto adequado deve proporcionar conforto térmico; distribuir o ar em quantidades adequadas a cada ambiente para satisfazer as necessidades de ventilação; isolar e remover odores e poluentes com a pressurização do ambiente, filtração do ar e uso de ventiladores de exaustão.

A combinação dos parâmetros ambientais determina se os ocupantes da edificação estão ou não satisfeitos com a condição térmica do ambiente. O nível de atividade física, a idade e fatores fisiológicos individuais afetam a sensação de conforto sentida por cada ocupante. A Norma ASHRAE 55-1981 estabelece as condições de temperatura e umidade que satisfazem a pelo menos 80 % dos ocupantes em atividades físicas sedentárias e leves. Essa norma assume que as pessoas estão vestidas normalmente, pois a perda de calor depende também do tipo e quantidade de roupa. A uniformidade de temperatura é importante para o conforto térmico.

A estratificação de temperatura é um problema comum causado pela convecção do ar, ou seja, tendência do ar quente subir e do frio descer. Se o sistema de ventilação não movimentar o ar adequadamente, a temperatura próxima ao forro pode ser vários graus acima do que próxima ao piso. Pode também ocorrer flutuações grandes na temperatura do ar interno quando o sistema de controle tem uma banda morta (*dead band*) larga (faixa de temperatura na qual não ocorre nenhum aquecimento ou resfriamento). A transferência de calor por radiação causa desconforto em pessoas que estejam próximas de superfícies muito quentes ou muito frias, embora a temperatura do ar esteja dentro da faixa de conforto. Edificações com grandes áreas envidraçadas geralmente têm problemas desse tipo, com a mudança do local da reclamação variando ao longo do dia com o posicionamento solar. Superfícies verticais grandes produzem um fluxo de ar por convecção natural significativo, causando reclamações por correntes de ar (*draft*).

O isolamento térmico das paredes externas ajuda a moderar a temperatura das superfícies em contato com o ar ambiente. Cortinas fechadas reduzem o aquecimento causado pela penetração direta de radiação solar e isolam os ocupantes do efeito direto da

radiação de áreas envidraçadas (janelas), que tendem a ser muito quentes no verão e muito frias no inverno.

A umidade é outro fator de conforto térmico. Se o ambiente tem umidade relativa elevada a perda de calor do corpo por evaporação de água é reduzida, de modo que o efeito é semelhante a um aumento de temperatura do ar. Umidades relativas muito altas ou muito baixas podem causar desconforto, enquanto as primeiras favorecem o aparecimento de mofo e fungos.

A maioria das unidades de ventilação distribui para os ambientes condicionados a mistura de ar exterior e ar recuperado do próprio ambiente. Alguns projetos especiais trabalham com 100 % de ar exterior. Quantidades não controladas de ar exterior penetram na edificação por infiltração através de frestas de portas e janelas, ou qualquer outra abertura na estrutura da edificação. O conforto térmico e a ventilação devem ser atendidos por um suprimento de ar “tratado”, ou seja, que foi filtrado, aquecido ou resfriado, e algumas vezes umidificado ou desumidificado.

É comum que em edificações de grande porte (edifícios) seus espaços mais internos necessitem de resfriamento constante, para compensar o calor gerado por ocupantes, equipamentos e iluminação artificial, enquanto às salas localizadas no perímetro da edificação podem demandar aquecimento ou resfriamento, dependendo das condições externas.

Em edifícios públicos e comerciais, os sistemas de climatização mais utilizados são o de Vazão de Ar Constante (VAC) e o de Vazão de Ar Variável (VAV). Os sistemas VAC são projetados para fornecer uma vazão de ar constante, numa temperatura que varia de acordo com as necessidades de carga térmica. A quantidade de ar exterior de ventilação pode ser constante, porém é controlada de forma manual ou automática para variar de acordo com a temperatura e umidade do ar exterior. Os controles devem permitir uma quantidade mínima de ventilação de acordo com as condições de projeto.

Os sistemas VAV fornecem o ar com temperatura constante e varia sua vazão, de acordo com as necessidades de carga de cada ambiente. Os primeiros sistemas VAV não permitiam o controle de vazão do ar exterior, de modo que este era reduzido para acompanhar a redução da vazão de ar insuflado. Projetos mais recentes asseguram uma quantidade mínima de ar exterior de ventilação, através de dispositivos que controlam sua pressão estática. Dispositivos de conservação de energia como economizadores ou recuperadores de calor também são encontrados em algumas instalações.

Projeto bem feito, instalação bem executada e o teste e balanceamento dos dutos de

distribuição de ar são fatores críticos na operação de todos os tipos de sistemas de ventilação e ar condicionado, especialmente nos sistemas VAV, que necessitam de inspeção e ajustes mais frequentes.

A quantidade de ar exterior apropriada para uma ventilação adequada tem variado substancialmente ao longo do tempo. Atualmente, a norma em vigor mais utilizada é a Norma ASHRAE 62, cuja última revisão foi feita em 1999. Se o projeto foi executado antes de 1999, provavelmente a quantidade de ar exterior é bem menor do que a recomendada atualmente.

6 QUALIDADE DO AR INTERNO (QAI)

A qualidade do ar é muito importante principalmente para os órgãos vitais do homem como, por exemplo, o cérebro, uma vez que este necessita de oxigenação constante para que possa cumprir todas as suas funções. Quando o cérebro percebe a necessidade de uma quantidade maior de oxigênio, envia estímulos aos músculos do peito e diafragma, fazendo-os funcionar com maior aceleração e vigor. É sabido que o ar é uma mistura gasosa determinante para a vida humana devido principalmente ao processo que se dá no interior das células de seu corpo onde os alimentos são transformados em energia, pela reação com o oxigênio presente no ar inspirado. Este processo é conhecido como respiração e permite a produção da energia que será utilizada na manutenção da vida e no desenvolvimento dos movimentos diversos de uma pessoa.

Durante o processo de respiração o ar ao ser inalado passa através das vias respiratórias onde sofre algumas modificações quanto às proporções de seus elementos básicos, devido a um processo de umidificação pela mistura deste ar com uma parcela de dióxido de carbono. O oxigênio presente no ar é absorvido na corrente sanguínea e o dióxido de carbono é exalado para a atmosfera.

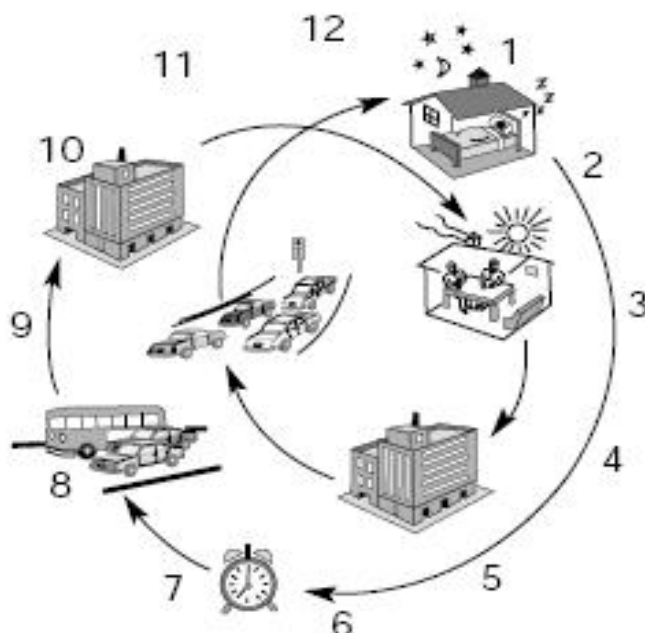
É sabido que homem pode sobreviver vários dias sem a ingestão de alimentos e alguns dias sem ingestão de água. Em média, o consumo de alimentos e de água diários de um homem é da ordem de 1 quilo e 2 litros respectivamente. Quanto ao ar a autonomia restringe-se à sobrevivência por alguns minutos sem inalação deste.

Para uma utilização favorável do ar é necessário que este contenha no mínimo 19.5 % em volume de oxigênio (O_2), mantendo isenção de produtos químicos prejudiciais à saúde. É desejável também que o ar se apresente em temperaturas e pressões tais que não ocorram queimaduras ou congelamentos dos órgãos do aparelho respiratório como, por exemplo, os cílios nasais, que são responsáveis pela retenção de partículas e impurezas provenientes deste ar. Juntamente com os gases podem ser encontrados em suspensão na atmosfera outros elementos tais como poeiras, polens, cinzas, compostos orgânicos e microorganismos.

Durante muito tempo, a maioria dos profissionais, ao projetar uma edificação, preocupava-se quase que exclusivamente com a estética e funcionalidade desta, sem, no entanto dar muita importância aos aspectos ambientais e energéticos envolvidos em tal empreendimento. Como grande parte das atividades ainda são realizadas em ambientes

fechados surgiu então a necessidade de realizar-se o condicionamento do ar possibilitando a plena ambientação de homens e máquinas nestes ambientes. Os trabalhadores passam de 80 a 90% de seu tempo em ambientes fechados.

Figura 44 - Condição de vida da maioria das pessoas



Fonte Apostila de Qualidade do Ar.

A década de 70 é um marco importante nos problemas que surgiram com a qualidade do ar interior (QAI) em ambientes climatizados artificialmente. Os aumentos sucessivos do preço do barril de petróleo pelos países produtores, especialmente os do Oriente Médio, causou preocupação com os custos da energia em vários setores que consomem seus derivados. Em todo o mundo, diversas normas de engenharia foram revisadas para se adequar à nova e dura realidade. Um exemplo significativo desse fato é a norma ASHRAE 62 que de 17 m³/h por pessoa em ambientes climatizados de escritório, com a revisão de 1981 passou a 8,5 m³/h por pessoa, ou seja, as quantidades mínimas de ar exterior exigidas em sistemas de climatização para ventilação e diluição da concentração de poluentes foram drasticamente reduzidas. Ao mesmo tempo, a automação crescente das tarefas executadas em ambientes climatizados elevou a geração interna de poluentes.

Além disso, o uso de materiais plásticos, madeiras compensadas e/ou aglomeradas, copiadoras, carpetes, e outros, que liberam de forma lenta e contínua compostos orgânicos voláteis dentro da edificação, que acabam inalados pelos ocupantes, comprometendo sua

saúde. A combinação nociva desses fatores foi constatada em pessoas que ocupavam certos ambientes climatizados e começaram a apresentar sintomas de doenças que desapareciam tão logo os deixavam. Tais sintomas não tinham causa específica mas se relacionavam com o tempo de permanência nesses ambientes. As reclamações podiam estar localizadas em certas áreas ou zonas, ou ainda em toda a edificação, e as mais comuns eram: irritação dos olhos, garganta seca, dor de cabeça, fadiga, congestão nasal e falta de ar.

Baseado nessas observações, cunhou-se o conceito de *Síndrome de Edifício Doente* (SED), sempre que no mínimo de 20 % dos ocupantes de um ambiente climatizado apresentassem alguns desses sintomas. Além disso, verificou-se que a deterioração da qualidade do ar interior estava intimamente ligada com a SED. Seria a redução da ventilação (quantidade de ar exterior) e o aumento das fontes de contaminação internas os únicos responsáveis pela SED? Infelizmente, não. Estudos realizados mundo afora indicam as principais causas da SED:

- a) Ventilação Inadequada 52%;
- b) Poluentes Internos 12%;
- c) Poluentes Externos 9%;
- d) Contaminação de Construção 2%;
- e) Contaminação Biológica 0,4%;
- f) Causas Desconhecidas 24%.

Fatores relacionados aos sistemas de climatização, que influenciam a qualidade do ar interno e também contribuem para que a SED se instale, são apresentados abaixo. Além desses, outros fatores também contribuem para instalação da SED, porém, são mais psicológicos do que relacionados aos já enumerados. Dentre esses, tem-se: ambientes com nível de ruído elevado, luzes ofuscantes, trabalhos estressantes e alguns fatores desconhecidos. Algumas pesquisas realizadas no EUA e no Canadá mostram que os problemas de QAI são responsáveis por 24 % e os de conforto por 30 % dos problemas de SED.

Fatores que contribuem para o surgimento do SED:

- a) Ventilação Insuficiente – A Norma ASHRAE 62/1989 recomenda o mínimo de 25 m³/h por pessoa, para garantir ventilação adequada;
- b) Distribuição inadequada de ar – O ar exterior de renovação não chega aos ambientes ou chega em quantidades insuficientes;

- d) Controle deficiente de temperatura – posicionamento e/ou ajuste errado do termostato de controle da temperatura;
- e) Projeto Inadequado – tomadas de ar externo posicionadas próximas às ruas de tráfego intenso ou onde há concentração elevada de CO (monóxido de carbono);
- f) Modificações Inadequadas – ocorre frequentemente, um caso típico é o uso de divisórias em espaços planejados anteriormente para serem salas amplas;
- g) Falta de Manutenção – Proporcionam o crescimento de micro-organismos. Tais como fungos e bactérias, nos pontos críticos do sistema e que são depois transportados pela corrente de ar. Filtros inadequados também são outra fonte de problemas.
- h) Desconhecimento do funcionamento do sistema de climatização - Conduz a ações incorretas de controle, comprometendo seu desempenho.

A condição do ambiente interior de qualquer edificação resulta da interação entre as características do local, do clima, dos sistemas que atendem a edificação (projetos originais e modificações posteriores na estrutura e demais sistemas mecânicos), das técnicas de construção empregadas, das fontes de contaminação (materiais de construção e de acabamento, umidade, processos e atividades realizadas dentro da edificação e fontes externas) e seus ocupantes. Geralmente, quatro elementos estão presentes em problemas envolvendo QAI:

- a) *Fontes de poluentes*: existem fontes de contaminação dentro ou fora da edificação ou ainda em seus sistemas mecânicos;
- b) *Climatização*: quando este sistema não consegue assegurar condições de conforto térmico e nem controlar a concentração de poluentes;
- c) *Vias de contaminação*: caminhos conectando as fontes de contaminação aos espaços ocupados e um potencial para deslocar os poluentes por essas vias;
- d) *Ocupantes*: usuários da edificação.

6.1 Fontes de contaminação do ar interior

Os poluentes do ar interior se originam no próprio ambiente ou fora dele. Se essas fontes não forem controladas os problemas de QAI podem evoluir, mesmo quando o sistema de climatização é bem projetado e está submetido a um programa regular de manutenção. Os poluentes são classificados em cinco grupos:

Grupo I: Poluentes do Ar Exterior

- a) Poluentes do ar exterior como pólenes, poeiras, esporos de fungos, poluentes industriais, gases de exaustão de veículos automotores;
- b) Emissões de fontes próximas como rodovias de tráfego intenso, prédios de estacionamento ou garagem, estaleiros de docas, distritos industriais, aterros sanitários e lixões, exaustão de edificações vizinhas e recirculação de exaustão da próxima edificação;
- c) Poluentes do solo como Random (gás radioativo produzido por decaimento de Rádio, que ocorre naturalmente em alguns tipos de solo e pode penetrar por frestas nas fundações da edificação), vazamentos de combustível de tanques enterrados, resíduos de contaminação no local onde foi construído o prédio e pesticidas;
- d) Unidade ou água parada que facilitam o crescimento de micro-organismos como a água acumulada em telhados após a chuva ou em galerias de acesso.

Grupo II: Poluentes originados nos equipamentos

- a) Sistemas de ventilação e ar-condicionado como poeira ou sujeira na rede de dutos ou em outros componentes, crescimento de micro-organismos (umidificadores, serpentinas de resfriamento e desumidificação, bandejas de condensação), uso impróprio de produtos (biocidas, selantes de limpeza), ventilação inadequada, fugas de refrigerante;
- b) Outros sistemas como emissões de compostos voláteis por equipamentos (copiadores, impressoras e computadores) e suprimentos de escritório (tonner e solventes), emissões de processos (limpeza, laboratórios e lojas), emissões de motores de elevadores e de outros sistemas mecânicos.

Grupo III: Poluentes originados na atividades dos ocupantes

- a) Atividades pessoais como fumar, cozinhar, odores corporais e de cosméticos usados;
- b) Manutenção da edificação como suprimentos armazenados, lixo, fragrâncias e desodorantes de ambientes, poeira levantada na limpeza;
- c) Manutenção geral como micro-organismos presentes na atmosfera das torres de arrefecimento devido ao tratamento incorreto da água, poeira e sujeira carregadas pelo ar, composto orgânico voláteis (tintas, calafetação e adesivos), pesticidas para controle de pragas, emissões de suprimentos armazenados.

Grupo IV: poluentes de instalações e acabamentos da edificação

- a) Locais que produzem ou coletam poeiras e fibras como superfícies têxteis (carpetes e cortinas), acabamento velho e deteriorado, materiais contendo fibras-minerais perigosas como o asbesto;

- b) Condições insalubres e danos por água como crescimento de micro-organismos (acabamentos danificados por água, áreas de condensação superficial), água parada por drenos entupidos ou inadequados, vazamentos do gás produzido pro decomposição de matéria orgânica na rede de esgotos;
- c) Produtos químicos liberados por componentes ou acabamentos como compostos voláteis orgânicos ou inorgânicos.

Grupo V: outras fontes de poluentes

- a) Eventos acidentais como derramamento de água e outros líquidos, crescimento de micro-organismos (goteiras, vazamentos em tubulações de água e de combate ao fogo) e incêndio;
- b) Uso especial de áreas em edificações de uso múltiplo como salas de fumantes, laboratórios, lojas de pinturas, galerias de arte, academias de ginástica, salões de beleza e praças de alimentação;
- c) Atividades de reparo, reforma e redecoração como emissões de acabamento novo, poeira e fibras de demolição, compostos voláteis (tintas, calafetadores e adesivos), micro-organismos liberados pelas atividades de demolição e remodelação.

Os poluentes do ar interior são de uma variedade muito grande e em concentrações muito abaixo dos valores mínimos preconizados em normas internacionais que tratam de saúde no ambiente construído. O conhecimento atual, torna difícil – senão impossível – relacionar um determinado problema de saúde aos efeitos de exposição à concentração de um poluente específico, pois esse geralmente ocorre em baixos níveis de concentração.

As vias de fluxo de ar nas edificações resultam da ação combinada do sistema mecânico de ventilação, das atividades desenvolvidas e das forças naturais geradas. As diferenças de pressão geradas por essas forças movem os poluentes das áreas de maior pressão para outras de pressão relativamente menor, através de qualquer abertura disponível.

Geralmente, o sistema de climatização é o principal responsável por vias e potenciais de movimentação de ar dentro das edificações. Entretanto, todos os seus componentes (paredes, forros, pisos, equipamentos e ocupantes) interagem e afetam a distribuição de poluentes.

As forças naturais exercem influência importante sobre a movimentação do ar entre zonas e entre o interior e o exterior da edificação. O *vento* e o *efeito chaminé* podem superar o sistema de ventilação mecânica da edificação e causar uma ruptura nos padrões de

ventilação e circulação de ar, especialmente se o “envelope” da edificação é cheio de frestas.

O efeito chaminé produz um fluxo de ar devido a uma diferença de pressão resultante da convecção (tendência do ar quente ascender). O efeito chaminé ocorre se existe uma diferença de temperatura interna-externa e torna-se mais forte à medida que esta diferença aumenta. O ar aquecido escapa pelos pontos mais altos da edificação, o ar interno move-se dos andares mais baixos em direção aos mais altos, tomando o lugar do ar que escapa. O efeito chaminé pode transportar poluentes entre os andares pelas escadas, poços de elevadores, galerias de serviço e outras aberturas existentes.

Os efeitos do vento são transitórios: criam áreas de alta pressão (no lado que o vento sopra) e de baixa pressão (no lado oposto) na edificação. Dependendo das aberturas e frestas no “envelope” da edificação, o vento pode afetar a relação de pressões entre os compartimentos da edificação.

O princípio básico que regula a movimentação de ar das zonas de alta pressão em direção às de baixa pressão, pode criar muitas vias de distribuição de poluentes: circulação no próprio ambiente que contém a fonte de poluição; movimentação de ar em direção aos ambientes adjacentes com pressão menor (se, eventualmente, os ambientes adjacentes estão pressurizados geralmente a pressão entre eles é diferente); recirculação dentro do ambiente contendo a fonte de poluição ou em zonas adjacentes por onde o ar de retorno passa; movimentação dos níveis mais baixos para os mais altos da edificação e movimentação devido a infiltração de ar exterior ou de recirculação do ar de exaustão. O ar move-se das áreas de alta para as de baixa pressão por qualquer abertura disponível. Através de aberturas ou buracos pequenos pode passar grandes quantidades de ar (que pode ser muito difícil de avaliar), especialmente se a diferença de pressão for elevada.

Mesmo quando toda a edificação é mantida sob pressão positiva existem sempre alguns locais (por exemplo, a tomada de ar exterior) que operam sob pressão negativa em relação ao exterior. A entrada de poluentes pode ser intermitente, ou seja, ocorre somente quando o vento sopra vindo da direção daquela fonte de poluição. A interação entre as vias de contaminação e os potenciais variáveis e intermitentes pode fazer com que uma única fonte de poluentes cause reclamações de QAI em vários pontos da edificação.

Os grupos particularmente suscetíveis aos efeitos dos poluentes do ar interior incluem, mas não estão limitados, os indivíduos alérgicos e asmáticos, pessoas com problemas respiratórios, pessoas com supressão do sistema imunológico devido a quimioterapia, radioterapia, doença, ou qualquer outra causa e usuários de lentes de

contato.

Alguns desses grupos são particularmente vulneráveis à exposição a certos poluentes ou mistura de poluentes. Por exemplo, pessoas com doença cardíaca são mais afetadas por baixos níveis de concentração de monóxido de carbono do que as saudáveis. Crianças expostas a fumaça de cigarro têm apresentado alto risco de desenvolverem doenças respiratórias e aquelas expostas ao dióxido de nitrogênio desenvolvem infecções respiratórias.

Por causa da sensibilidade variável, um indivíduo pode reagir aos problemas de QAI enquanto outros ocupantes na sua vizinhança não sentem nenhum efeito (sintomas limitados a uma pessoa ocorrem também se seu posto de trabalho recebe uma dose elevada de poluente). Em outros casos, as reclamações podem ser generalizadas.

Um único poluente pode causar reações diferentes em pessoas diferentes. Algumas nem mesmo são afetadas por qualquer um deles. Informações sobre os tipos de sintomas podem conduzir diretamente às soluções. Entretanto, essas informações são mais úteis para identificar o momento e as condições sob as quais os problemas ocorrem.

Certas alergias ou infecções podem estar relacionadas com agentes conhecidos presentes no ar. Onde esses agentes podem ser diretamente isolados e identificados não está caracterizado um problema de QAI.

Uma pequena porcentagem da população é bastante sensível a determinados produtos químicos em baixas concentrações presentes no ar interior das edificações. Esta condição, conhecida como *Sensibilidade Química Múltipla* (SQM), é matéria de considerável controvérsia. Atualmente, a SQM não é reconhecida pelas principais organizações médicas mundiais, mas as opiniões estão divididas e mais pesquisas serão necessárias.

Às vezes, alguns ocupantes de uma edificação apresentam problemas de saúde sérios e raros, que acontecem num período de tempo relativamente curto. Geralmente, o vilão dessa história é o problema de QAI. Isso produz um nível de ansiedade elevado nos outros ocupantes e as autoridades sanitárias locais devem ser acionadas para investigar e dar uma resposta rápida e satisfatória.

6.2 Técnicas para controle de poluentes do ar interior

Uma técnica para controlar odores e poluentes é a *diluição com ar exterior*. A diluição só funciona bem se houver uma vazão de ar exterior apropriada e que está se misture efetivamente ao ar do ambiente condicionado. A eficiência da ventilação expressa a capacidade do sistema de ventilação distribuir o ar tratado e remover os poluentes

provenientes das fontes internas. Atualmente, os pesquisadores têm estudado maneiras de medir essa eficiência e interpretar os resultados dessas medições.

Outra técnica para isolar odores e poluentes é projetar e operar os sistemas de ventilação e ar condicionado de modo que a *relação entre as pressões de cada ambiente seja controlada*. Este controle é efetivado pelo ajuste das vazões de ar que são insufladas e aspiradas de cada sala. Se a vazão insuflada é maior do que a aspirada, diz-se que o ambiente está sob *pressão positiva*; caso contrário, estará sob *pressão negativa*.

O controle dessas relações de pressão é particularmente importante em edificações de uso múltiplo ou em edificações com áreas de uso especial. Em geral, as edificações são projetadas para trabalhar sob pressão positiva, a fim de evitar que infiltração de ar não tratado provoque desconforto térmico, e correntes de ar indesejáveis, além de trazer poeira e sujeira. Sem manutenção regular e apropriada essas diferenças de pressão podem não se manter como originalmente projetadas.

Uma terceira técnica é usar *sistemas de exaustão localizados* para isolar e manter os poluentes numa área de pressão negativa em torno da fonte de contaminação. A exaustão localizada pode ser aplicada a um componente específico (por exemplo, uma coifa numa cozinha) ou a todo um ambiente (sala de fumantes). A exaustão localizada deve descarregar o ar diretamente para o exterior, sem nenhuma recirculação, principalmente em locais que produzem muitos odores e apresentam alta concentração de poluentes, tais como, salas de copiadoras, salas de banho, cozinhas e salões de beleza.

Em ambientes que usam a exaustão localizada deve ser feita uma complementação do ar extraído, de acordo com o funcionamento do restante do sistema de ventilação. Sob certas circunstâncias, transfere-se ar condicionado de uma parte relativamente limpa da edificação para usá-lo na reposição do ar descarregado pela exaustão localizada. Essa transferência pode economizar uma quantidade significativa de energia.

Lavadores e filtros de ar também são componentes dos sistemas de climatização usados para controlar os poluentes, e podem ser instalados na rede de dutos como unidades independentes. O desempenho desses dispositivos depende de sua seleção, da instalação, da operação e manutenção corretas. Muito cuidado deve ser tomado na avaliação das novas tecnologias desenvolvidas no campo de lavadores e filtros de ar.

Algumas providências, que independem do sistema de tratamento de ar, podem ser adotadas para reduzir ou eliminar fontes potenciais de poluentes na ambiente interior. É recomendável evitar:

a) Lajes de teto, acima de forros falsos, sem revestimento e com detritos e resíduos de

obra;

- b) Isolamento térmico sobre o forro falso de material fibroso desprotegido, que favorece a acumulação de poeira e a proliferação de microrganismos;
- c) Móveis, divisórias, carpetes ou pinturas contendo adesivos, resinas ou vernizes sintéticos que liberem emanações de compostos orgânicos voláteis;
- d) Carpetes que permitem o acúmulo de poeira, ácaros e microrganismos entre o piso e o tapete;
- e) Vasos com plantas vivas e terra úmida;
- f) Ocupação imediata de locais pintados recentemente ou reformados, ou logo após aplicação de produtos de limpeza, desinfetantes ou desodorantes.

Recomenda-se, ainda, localizar as máquinas copiadoras e impressoras, sempre que possível, em recintos isolados. Estabelecer locais reservados para fumantes, de modo que o controle dos poluentes seja realizado na fonte, antes que se disseminem por outros locais.

Os sistemas de ar condicionado controlam a QAI por redução da concentração de poluentes, usando simultaneamente dois processos básicos: renovação contínua do ar ambiente e filtragem do ar em circulação.

A renovação usando ar exterior, dilui a concentração de poluentes gasosos e dos vapores gerados internamente, que não podem ser eliminados por filtragem, tais como o dióxido de carbono, odores, componentes orgânicos voláteis. Além disso, a concentração de poeiras muito finas, microrganismos, fumaça de cigarro, eventualmente não retidas nos filtros, são retiradas do ambiente pela exaustão de ar deslocado pelo ar de renovação. As vazões recomendadas de ar exterior são válidas para qualquer tipo e tamanho de instalação, inclusive em aparelhos de janela e *mini-splits*.

A *qualidade do ar exterior de renovação* é aceitável quando as concentrações de poluentes não ultrapassam os valores estipulados na Tabela 1. Em centros urbanos, mesmo naqueles considerados poluídos, na maior parte do tempo o padrão do ar exterior oscila entre “bom” ou “aceitável”. A concentração de poluentes gasosos (óxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e óxido de nitrogênio) no ar exterior frequentemente supera o nível “aceitável”. Entretanto, em alguns casos pode ser necessário prever sua redução por meios apropriados (filtros por adsorção ou processos químicos). A metodologia para estabelecer a vazão de ar exterior de renovação, consiste em desdobrá-la em dois componentes somados: (1) vazão por pessoa, para diluir e exaurir o dióxido de carbono, os efluentes biológicos e outros poluentes produzidos pelas pessoas e suas atividades no

recinto; (2) vazão por m^2 de área ocupada, para diluir os poluentes e exaurir os irritantes produzidos por materiais que compõem o recinto, inclusive os móveis e carpetes, ou mesmo aqueles originados no próprio sistema de tratamento de ar.

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar exterior (Resolução CONAMA¹⁰ No. 3 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas ⁽¹⁾	365
	MAA ⁽³⁾	80
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas ⁽¹⁾	240
	MGA ⁽²⁾	80
Partículas inaláveis	24 horas ⁽¹⁾	150
	MAA ⁽³⁾	50
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾	150
	MAA ⁽³⁾	60
Monóxido de carbono (CO)	01 hora ⁽¹⁾	40.000 (35 ppm)
	08 horas	10.000 (9 ppm)
Ozônio	01 hora ⁽¹⁾	160
Dióxido de nitrogênio (NO_2)	01 hora ⁽¹⁾	320
	MAA ⁽³⁾	100

NOTAS:
 Padrão primário: são concentrações de poluentes, que ultrapassadas, podem afetar a saúde da população.
⁽¹⁾ Não deve ser excedido mais de uma vez por ano;
⁽²⁾ Média Geométrica Anual;
⁽³⁾ Média Aritmética Anual.

Fonte Apostila de Qualidade do Ar.

A Tabela 2 lista os parâmetros mínimos para cálculo da vazão de ar exterior, desmembrando os componentes devido às pessoas (R_p) e ao próprio recinto (R_r), bem como a taxa de ocupação (p) típica para vários tipos de recintos. Para recintos não listados, usar características semelhantes.

Os valores de R_p foram estabelecidos na base de 2,5 L/s por pessoa, que é suficiente para diluir odores e poluentes gerados pelos ocupantes, e manter 80 % deles satisfeitos, enquanto desenvolvem atividades sedentárias e estão adaptados ao ambiente térmico. Correções podem ser necessárias em função de maior taxa metabólica. Para recintos críticos, tais como escritórios, salões de convenções, salas de aulas, teatros e auditórios, o valor base foi duplicado.

Os valores de R_r foram estabelecidos considerando edifícios pouco poluentes (construção tradicional e não muito recentes, onde predominam materiais como tijolos, concreto e madeira, com poucos materiais sintéticos), em boas condições de manutenção e limpeza, inclusive do próprio sistema de tratamento de ar. Em edificações novas, ou após nova pintura, ou aplicação de novo acabamento de superfícies, ou substituição de mobílias,

casos em que as emissões de componentes voláteis se reduzem lentamente ao longo do tempo, as vazões de ar exterior devem ser inicialmente aumentadas até que as emissões alcancem níveis toleráveis.

Os valores de p indicam a taxa típica de ocupação esperada. O projetista deve averiguar o uso da taxa efetivamente existente ou da esperada. Não havendo informação disponível, os valores previstos da Tabela 6.6 devem ser usados com anuência do proprietário ou do arquiteto.

Tabela 2: Parâmetros mínimos para cálculo da vazão de ar exterior.

LOCAIS	Taxa de Ocupação p (m^2 /pessoa)	Componentes do ar exterior		Notas
		R_p (L/s*pessoa)	R_r (L/s*pessoa)	
Lojas de pouco público	5,0	3,5	0,6	
Lojas de muito público	3,0	3,5	0,6	
Barbearia	4,0	3,0	0,8	(1)
Salão de beleza	4,0	5,0	1,3	(1)
Loja – animais de estimação	---	---	4,5	(1), (2)
Loja – móveis e carpetes	---	---	2,5	
Hall de centro comercial	5,0	4,0	0,3	
Supermercado	12,0	3,5	0,3	
Bancos – área de público	5,0	3,5	0,3	
Escritório – alta taxa de ocupação	6,0	5,0	0,5	
Escritório – baixa taxa de ocupação	12,0	5,0	0,5	
Sala de reunião	2,0	4,5	0,5	
Sala de digitação, telecomunicação	2,0	6,0	0,5	
Sala de impressora, xerox	---	---	2,5	(1), (2)
Aeroporto – saguão	5,0	3,5	0,3	(3)
Aeroporto – sala de espera	1,0	4,0	0,3	(3)
Biblioteca	10,0	3,0	0,7	
Museu – área de público	5,0	3,5	0,3	(3)
Igrejas, templos	0,7	3,0	0,3	
Danceteria, discoteca	1,0	7,5	0,3	(4)
Ginásios – área de público	0,7	3,5	0,3	
Salas de aulas	2,0	5,0	0,8	
Hotel – apartamento	---	---	15	(5)
Salão de convenções	2,0	4,5	0,5	
Bar, cafeteria, lanchonete	1,0	3,5	0,8	(4)
Restaurante	2,0	3,5	0,8	
Teatro – plateia	0,7	4,5	0,5	
Corredores	---	---	0,3	
Sanitários coletivos	---	---	25	(2), (6)
Vestiários coletivos	---	---	1,5	(2)
Garagens coletivas	---	---	7,5	(2)

NOTAS: (1) Não recircular para outros recintos; (2) Exige exaustão mecânica, com ventilação captada em recintos vizinhos; (3) Tratamento especial do ar exterior para remover odores, gases e vapores nocivos; (4) Exaustão mecânica auxiliar se for permitido fumar; (5) L/s*apartamento, independentemente de seu tamanho; (6) L/s*bacia sanitária.

Fonte Apostila de Qualidade do Ar.

6.3 Padrão referencial de QAI

Para constatar e confirmar problemas de QAI é necessário estabelecer padrões de referência que possam identificá-los. Os padrões de referência são marcadores qualitativos e quantitativos de QAI, utilizados como sentinelas para determinar a necessidade de busca de fontes poluentes e indicar intervenções ambientais antes que ocorram os problemas de QAI. Assim, um valor máximo recomendável é especificado para estabelecer o limite que separa as condições de ausência e presença do risco de agressão à saúde humana.

A Resolução 176 de 24/10/2000, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, recomenda os seguintes padrões referenciais de QAI em ambientes climatizados de uso público e coletivo:

a) Valor Máximo Recomendável (VMR) para contaminação biológica deve ser menor que 750 ufc/m^3 de fungos (*ufc, unidades formadoras de colônias*), para a razão I/E inferior a 1,5 onde I é a quantidade de fungos no ambiente interior e E no ambiente exterior. Se I/E for maior que 1,5 é necessário fazer um diagnóstico das fontes de poluição para uma intervenção corretiva. É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos;

b) Os VMR's para contaminação química são: dióxido de carbono (CO_2) inferior a 1.000 ppm (partes por milhão) como indicador de ventilação; aerossóis totais no ar inferior a 80 mg/m^3 como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado;

c) As faixas de valores recomendáveis dos parâmetros físicos de temperatura, umidade, velocidade, taxa de renovação e grau de pureza do ar devem estar de acordo com a NBR-6401/ABNT – Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto: Temperatura de bulbo seco (condição interna de verão) de 23 a 26°C, exceto em ambientes de arte, de 21 a 23°C. A faixa máxima varia de 26,5 a 27°C, exceto em áreas de acesso, com máximo de 28°C. No inverno, a faixa recomendável varia de 20 a 22°C; Umidade relativa (condição interna de verão) de 40 a 65%, exceto em ambientes de arte, de 40 a 55% (o ano todo). Valor máximo de 65%, exceto em áreas de acesso, 70%. No inverno, a faixa recomendável varia de 35 a 65%; Velocidade do ar, à 1,5 metros do nível do piso, de 0,025 a 0,25 m/s; Taxa mínima de renovação de ar de $27 \text{ m}^3/\text{hora}$ por pessoa, podendo em situações críticas (agências bancárias, lojas e centros comerciais) chegar a $17 \text{ m}^3/\text{hora}$ por pessoa, desde que a concentração de CO_2 não exceda os máximos recomendados acima; Grau de pureza obtido com filtros de ar classe G-3 nos condicionadores do sistema.

7 O BRASIL E O QAI

No Brasil não se tem norma técnica específica tratando os problemas de QAI. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não tem nenhuma publicação nesse sentido. Em função de problemas de saúde decorrentes de SED e posterior óbito de uma figura do alto escalão do Governo Federal (Min. Sérgio Mota), o Ministério da Saúde publicou a Portaria 3.523 de 28 de agosto de 1998, que antes mesmo de ser regulamentada já tem provocado discussões. Segundo o Presidente da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA): “Deveria pesar a qualidade e não a quantidade de ar exterior captado” ou ainda “Nossa norma também ignora a questão da filtragem e a importância dos poluentes gerados por elementos da construção, bem como pelo próprio “recheio” do prédio, incluindo os elementos de mobília e decoração”.

Em 07/05/1999, a ABRAVA publicou uma Recomendação Normativa (RN) para execução de serviços de Limpeza e Higienização de Sistemas de Distribuição de Ar, que é válida somente como um guia de procedimentos técnicos – não oficial – com objetivo de orientar as atividades do setor até se transformar em Norma Brasileira. Em agosto de 1999 foi firmado um convênio entre a ABRAVA e o CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos –UFSCar-SP, cujo compromisso prevê a implantação com de um laboratório com equipe técnica capacitada para realizar serviços na área de QAI.

Segundo o diretor-executivo do CCDM, o grande problema hoje é a existência de vários parâmetros distintos para monitoramento do ar nos ambientes, definidos por diferentes empresas e/ou entidades, e diz: “Nossa proposta é utilizar referências nacionais e internacionais sobre o funcionamento dos sistemas de ar condicionado para oferecer um diagnóstico preciso e, daí em diante, propor critérios pautados em parâmetros físicos, químicos e biológicos”. Em 24/10/2000, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, órgão do Ministério da Saúde, publicou a Resolução 176.

Essa Orientação Técnica fixa padrões referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, no que diz respeito à definição de valores máximos recomendáveis para contaminação biológica, química e parâmetros físicos do ar interior e identificação das fontes poluentes, citando métodos analíticos e de controle.

7.1 Outras Regulamentações Importantes

Plano de Manutenção Operação e Controle (PMOC) é o Plano de Manutenção Operação e Controle é uma medida estipulada para monitorar e adequar qualidade do ar em ambientes de uso coletivo exigido na portaria 3.523/MS. Nele é estipulado quando as verificações e correções técnicas deverão ser executadas em cada ponto do sistema de refrigeração. É especificado também, qual o número de ocupantes de cada ambiente refrigerado, a carga térmica do equipamento e o tipo de atividade desenvolvida no local. Obrigatoriamente quando um estabelecimento ultrapassa a carga térmica de 60.000 BTUs (ou 5 TR). É especificado também qual o número de ocupantes de cada ambiente refrigerado e o tipo de atividade desenvolvida no local. A empresa é analisada num panorama geral, e não apenas por setores. Ou seja, se ela atingiu a carga térmica mínima, terá de providenciar o PMOC.

Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) é um documento obrigatório, que deve ser apresentado em qualquer serviço ou obra específica dentro de um estabelecimento, conforme determina a Lei Federal no. 6.496/77. O ART não é um selo de qualidade, mas sim um documento que registra o técnico responsável pela instalação. A ART é expedida sempre que necessitar de uma avaliação técnica em um ambiente de uso coletivo. Isto se aplica a projetos de climatização, instalações elétricas, projetos ambientais, dentre outras ações.

Se as regras da PMOC e ART não forem seguidas às empresas podem vir a ter um considerável prejuízo com multas, indenizações, licenças médicas e processos na justiça pelas pessoas que foram contaminadas pela má qualidade do ar. O estabelecimento pode sofrer multas de R\$2.000 a R\$200.000, variando conforme sua situação e porte.

8 EFEITOS DA QUALIDADE DE AR A BORDO DE UNIDADES MARÍTIMAS

Uma das motivações que me levou a fazer este trabalho sobre QAI é constatar que a bordo das unidades marítimas nós ainda estamos dando pouca importância a este tema. Pelo que foi relatado e pelo material farto de pesquisa encontrado sobre o tema verifico pela minha experiência que o assunto é negligenciado e técnicas sugeridas de manutenção de ventilação e a simples manutenção como trocas de elementos filtrantes não são realizadas. Verifiquei que por diversas ocasiões na plataforma na qual trabalho as pessoas por estarem no mesmo ambiente e embarcarem doentes causam epidemias a bordo que causam desembarques prematuros de pessoal ocasionando custos excessivos e desnecessários se a importância do tema fosse analisada pelas administrações de bordo e de terra. Uma coisa que muito me preocupa são as infecções que podem levar a óbito por fungos e micro-organismos que normalmente se depositam e proliferam pelos dutos de ar condicionado que vão abastecer os diversos ambientes de uma unidade *offshore* como por exemplo a plataforma onde trabalho. Muitas vezes adiamos algumas necessidades que deveriam ser básicas, mas passam despercebidas em nosso dia a dia, por estarem “escondidas”. A limpeza do ar condicionado é uma delas, pois é fundamental para a manutenção da saúde, tanto em nossas casas quanto nos ambientes de trabalho.

Esses aparelhos são verdadeiros hotéis para fungos e bactérias e podem gerar complicações. O número desses micro-organismos nos refrigeradores de ar é assustador e traz consequências sérias, como alergias, rinites, asma, pneumonia e até conjuntivite. A poluição do ambiente é a principal causadora dessa sujeira que se acumula nos filtros dos aparelhos, por isso sempre devem ser limpos. Uma pessoa asmática por exemplo, ao entrar em um ambiente não saudável, provavelmente sentirá uma irritação no sistema respiratório enquanto permanecer no local. E se permanecer por muito tempo exposta ao ambiente, o mesmo pode provocar doenças, tais como: asma, infecções bacteriológicas, virais ou por fungos. Estas doenças estão diretamente relacionadas às condições do ambiente local.

No ar interno, a contaminação microbiológica pode ser um problema sério, sendo que uma série de fatores permitem o crescimento e a liberação desses agentes biológicos no ar. Alta umidade, ventilação reduzida, edifícios “selados” e sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado que possuem água ou condensação em algumas partes (torres de resfriamento) permitem o crescimento e a distribuição de vários micro-organismos. Dentre

esses fatores, a alta umidade relativa do ar é um dos mais importantes, pois permite o aumento das populações de ácaros e o crescimento de fungos sobre superfícies úmidas. O desenvolvimento de estudos sobre os contaminantes microbiológicos é importante devido às várias implicações de saúde e conforto decorrentes.

Agentes biológicos no ar interno são conhecidos por causarem três tipos de doenças humanas: infecções, doenças causadas por micro-organismos que invadem os tecidos humanos, como por exemplo o resfriado comum e a tuberculose; hipersensibilidade, causada por uma ativação específica do sistema imunológico; e toxidade, quando as toxinas produzidas por esses agentes causam efeitos nocivos diretos.

A contaminação interna com micro-organismos pode ocorrer sob muitas circunstâncias, sendo que ela ocorre, na maioria das vezes, quando uma falha no projeto do edifício, no sistema de ventilação ou ar condicionado permite, a proliferação desses micro-organismos. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, há alguns sintomas encontrados em “edifícios doentes” que podem ser relacionados a uma contaminação microbiológica. Vírus e bactérias causam doenças, mas o ar interno não é usualmente a causa de infecções virais, já que vírus não sobrevivem muito tempo fora do hospedeiro e a transmissão depende do contato com um indivíduo infectado (*Federal – Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health - 1995*).

Entretanto, certas espécies de bactérias, como a *Legionella pneumophila*, podem ser importantes do ponto de vista da qualidade do ar interno. A *Legionella pneumophila* é um dos três principais agentes bacteriológicos que causam uma forma de pneumonia de difícil detecção. Como essa doença é difícil de ser distinguida das formas mais comuns de pneumonia, muitos casos não são relatados. Cerca de mil casos são comunicados ao Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos EUA anualmente. Contudo, estima-se que aproximadamente 25.000 casos ocorram, sendo que desses, 5.000 a 7.000 resultem em mortes a cada ano. Trata-se da “Doença dos Legionários”, que pode resultar em pneumonia se for disseminada dentro do ambiente fechado. Torres de resfriamento, condensadores por evaporação, e sistemas de água quente podem ser fontes de proliferação da *Legionella pneumophila*. A inalação de grandes quantidades de esporos de fungos pode causar hipersensibilidade à pneumonia, contudo isto raramente resulta da exposição ao ar interno, sendo mais comum reações alérgicas ou asmáticas. Alguns bolores produzem microtoxinas que frequentemente se acumulam nos esporos.

A inalação destes esporos é associada a algumas queixas encontradas em edifícios doentes. É importante ressaltar que algumas pessoas possuem maior sensibilidade à exposição a esses micro-organismos, como por exemplo pacientes com AIDS ou em tratamento químico ou radioativo (pessoas com câncer). Espécies de fungos que possuem a habilidade de crescer e de se acumularem internamente ou em equipamentos de manipulação de ar são diferentes daqueles que crescem em plantas ou folhas. A condensação e a acumulação de água permitem o crescimento de muitos fungos que podem provocar ou induzir alergias ou outros problemas que não são rapidamente detectáveis por procedimentos médicos comuns. Baseado nestes fatos verificamos abaixo pelas figura 45 e 46 que estes dutos podem ser fontes de várias doenças.

Figura 45 - Duto Sujo sem Manutenção A



Fonte Apostila de Qualidade do Ar.

Figura 46 - Duto Sujo sem Manutenção B



Fonte Apostila de Qualidade do Ar.

Certamente alguns dos dutos de bordo podem estar assim e poderíamos estar fazendo sua limpeza mas até hoje na minha experiência de embarcado nunca presenciei um limpeza de dutos. A limpeza de dutos visa à remoção de partículas sólidas do sistema de dutos das instalações de ar condicionado e ventilação, evitando a proliferação de fungos e bactéria. A limpeza deve ser executada fora do expediente normal de trabalho. Dependendo do método utilizado para a limpeza, ele não impede que o ar condicionado seja utilizado normalmente caso apenas uma parte dos dutos tenha sido limpa, devido a extensão deles. Com a limpeza dos dutos, é necessário também a limpeza da casa de máquinas e os equipamentos de ar condicionado, incluindo os acessórios como *splitter*, grelhas, *dampers* e difusores. Se limpa também os equipamentos de ar condicionado (serpentina, interior dos gabinetes e filtros). Se fizéssemos isso a bordo e se a manutenção e normas fossem seguidas no futuro poderíamos ter uma referência de como reduzimos algumas doenças em trabalhadores embarcados que com certeza se apresentarão com o tempo que passamos convivendo nos ambientes de baixa qualidade de ar a bordo das embarcações. Na figura 47 vemos um duto limpo que seria o ideal para a manutenção da saúde de qualquer ambiente condicionado.

Figura 47 - Duto após a Higienização

Duto de retorno de ar



Antes da higienização



Após a higienização

Fonte Apostila de Qualidade do Ar.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambientes fechados criam um ambiente interno que pode ser hostil a seus ocupantes. Não há uma solução única e simples para este problema devido à multicausalidade dos eventos que levam a reações fisiológicas nos ocupantes destes ambientes. Uma adequada ventilação e suprimento de ar fresco elimina ou minimiza muitas das irritações em olhos, nariz, garganta e pele causadas por substâncias químicas presentes no ar provenientes do meio interno.

Porém, uma adequada ventilação atinge níveis de pureza do ar dependente da qualidade do ar externo. E verificamos que este ar externo pode ser afetado por várias maneiras. A tecnologia moderna pode melhorar e manter a pureza do ar interno em relação ao ar externo.

Porém, essas tecnologias devem ser aplicadas com um claro entendimento dos possíveis efeitos negativos de seu uso na saúde humana. Apesar dos filtros removerem poeiras indesejáveis e partículas respiráveis do ambiente externo, esses filtros também são um meio de crescimento de uma variedade de bactérias e outros agentes infecciosos. Como vemos este assunto é muito complexo e requer um enfoque multidisciplinar envolvendo engenheiros, arquitetos e epidemiologistas.

Apesar do conhecimento sobre doenças causadas por edifícios fechados sejam provenientes de estudos realizados na América do Norte e Europa, muitos dos mesmos problemas devem existir no Brasil, que só veio a encarar o problema com maior relevância após o ano de 1998 com a morte do Ministro Sérgio Mota e o lançamento da resolução 176 da ANVISA no ano 2000.

Assim sendo, nós usuários de sistemas de condicionamento e climatização do ar, devemos focar nossa atenção para estes problemas relacionados a qualidade do ar que estamos respirando não só a bordo mas em nossas residências, e começar a aplicar algumas das técnicas acima descritas para aumentarmos o controle deste ar e prevenir a nossa saúde tanto em casa como no nosso ambiente de trabalho.

Como vimos o tema é amplo e pode ser abordado em vários focos que poderiam gerar vários trabalhos de pesquisa com estudos de fatos aplicados em

vários ambientes, mas uma coisa temos que refletir será que a saúde humana melhorou ou piorou após a constatação que vivemos a maior parte do nosso dia em ambientes condicionados. Esta é uma pergunta que só agora nós estamos tentando responder com devido estudo da qualidade do ar interno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTHOUSE, Andrew D.; TURNQUIST, Carl H.; BRACCIANO, Alfred F. **Modern refrigeration and air conditioning 18TH edition**. Illinois, 2004.

AR-CONDICIONADO. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ar-condicionado>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals**. Atlanta-GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals**. Atlanta-GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2000.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals**. Atlanta-GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1994.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals**. Atlanta-GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1999.

AZEITE. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Azeite>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

COMPRESSOR. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Compressor>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

CORREA, Jorge E. **Refrigeração & climatização**. 2004. Apostila de Curso de Refrigeração Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

DIÓXIDO de carbono. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono>. Acesso em: 17 abr. 2014.

E.M., S.; A., H.; T.D., S. **Building illness indices based on questionnaire responses**. Proceedings IAQ' 86 Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation, Atlanta, GA, p.31-43, 1986.

ENERGIA cintica. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_cin%C3%A9tica>. Acesso em: 17 abr. 2014.

ENTALPIA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Diagrama_press%C3%A3o-entalpia&action=edit&redlink=1>. Acesso em: 17 abr. 2014.

FILTRO. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Filtro>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

GOSNEY, W. B. **Principles of refrigeration**. London, Cambridge University Press, 1982.

GONÇALVES, Luciene Pavanello. **Condicionamento de ar e sua evolução tecnológica**. 2005. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.

GOTÍCULA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Got%C3%ADcula>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

GUERREIRO, Marta Sofia. **Síndrome dos edifícios doentes**. 2012. 75 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado (Segurança e Higiene do Trabalho) – Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, 2012.

JUSANTE. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Jusante>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

MALHA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Malha>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil LTDA, 2002.

PRESSÃO. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Press%C3%A3o>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

PRIMEIRA lei da termodinâmica. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Primeira_lei_da_termodin%C3%A2mica>. Acesso em: 17 abr. 2014.

POLIURETANO. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

POLUIÇÃO. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Polui%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

PONTO de orvalho. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ponto_de_orvalho>. Acesso em: 17 abr. 2014.

QUALIDADE do ar inferior. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Qualidade_do_ar_interior>. Acesso em: 17 abr. 2014.

REFRIGERADOR. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Refrigerador>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

SAUER Jr, H. J.; HOWELL, R. H. **Principles of heating ventilating and air conditioning: a textbook based on 1993 ASHRAE handbook- fundamentals**. Atlanta-GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1994.

SERPENTINA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Serpentina>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

TABULEIRO. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Tabuleiro>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

TEMPERATURA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

TERMODINÂMICA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_termodin%C3%A2mico>. Acesso em: 17 abr. 2014.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo, McGraw-Hill, 1985.

UMIDIFICADOR. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Umidificador>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

VOLUME de controle. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Volume_de_controle>. Acesso em: 17 abr. 2014.

WANG, S. K. **Handbook of air conditioning and refrigeration**. New York, McGraw-Hill, 1994.

Anexo I

LEGISLAÇÃO SOBRE QUALIDADE DO AR INTERIOR

ANVISA

<p>Título: Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003</p> <p>Ementa não oficial: Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes Climatizados artificialmente de uso público e coletivo.</p> <p>Publicação: D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 20 de janeiro de 2003</p> <p>Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária</p> <p>Alcance do ato: Federal - Brasil</p> <p>Área de atuação: Tecnologia de Serviços de Saúde</p> <p>Relacionamento(s) :</p> <p>Atualiza: <input type="checkbox"/> Resolução RE nº 176, de 24 de outubro de 2000</p> <p>atos relacionados: <input type="checkbox"/> Portaria nº 3523, de 28 de agosto de 1998</p>

RESOLUÇÃO - RE Nº 9, DE 16 DE JANEIRO DE 2003

O Diretor da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, no uso da atribuição que lhe confere a Portaria nº 570, do Diretor Presidente, de 3 de outubro de 2002;

Considerando o § 3º, do art. 111 do Regimento Interno aprovado pela Portaria n.º 593, de 25 de agosto de 2000, republicada no DOU de 22 de dezembro de 2000, Considerando a necessidade de revisar e atualizar a RE/ANVISA nº 176, de 24 de outubro de 2000, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo, frente ao conhecimento e a experiência adquiridos no país nos dois primeiros anos de sua vigência;

Considerando o interesse sanitário na divulgação do assunto;

Considerando a preocupação com a saúde, a segurança, o bem-estar e o conforto dos ocupantes dos ambientes climatizados;

Considerando o atual estágio de conhecimento da comunidade científica internacional, na área de qualidade do ar ambiental interior, que estabelece padrões referenciais e/ou orientações para esse controle;

Considerando o disposto no art. 2º da Portaria GM/MS n.º 3.523, de 28 de agosto de 1998;

Considerando que a matéria foi submetida à apreciação da Diretoria Colegiada que a aprovou em reunião realizada em 15 de janeiro de 2003, resolve:

Art. 1º Determinar a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões

Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, em anexo.

Art. 2º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

CLÁUDIO MAIEROVITCH PESSANHA HENRIQUES

ANEXO

ORIENTAÇÃO TÉCNICA ELABORADA POR GRUPO TÉCNICO ASSESSOR SOBRE PADRÕES REFERENCIAIS DE QUALIDADE DO AR INTERIO R EM AMBIENTES CLIMATIZADOS ARTIFICIALMENTE DE USO PÚBLICO E COLETIVO

I - HISTÓRICO

O Grupo Técnico Assessor de estudos sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, foi constituído pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, no âmbito da Gerência Geral de Serviços da Diretoria de Serviços e Correlatos e instituído por membros das seguintes instituições:

Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e de Qualidade do Ar de

Interiores/BRASINDOOR, Laboratório Noel Nutels

Instituto de Química da UFRJ, Ministério do Meio Ambiente, Faculdade de Medicina da USP, Organização Panamericana de Saúde/OPAS, Fundação Oswaldo Cruz/FIOCRUZ, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO/MTb, Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial/INMETRO, Associação Paulista de Estudos e Controle de Infecção Hospitalar/APECIH e, Serviço de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde/RJ, Instituto de Ciências Biomédicas - ICB/USP e Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Reuniu-se na cidade de Brasília/DF, durante o ano de 1999 e primeiro semestre de 2000, tendo como metas:

1. estabelecer critérios que informem a população sobre a qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, cujo desequilíbrio poderá causar agravos a saúde dos seus ocupantes;
2. instrumentalizar as equipes profissionais envolvidas no controle de qualidade do ar interior, no planejamento, elaboração, análise e execução de projetos físicos e nas ações de inspeção de ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.

Reuniu-se na cidade de Brasília/DF, durante o ano de 2002, tendo como metas:

1. Promover processo de revisão na Resolução ANVISA-RE 176/00
2. Atualiza -lá frente a realidade do conhecimento no país.
3. Disponibilizar informações sobre o conhecimento e a experiência adquirida nos dois primeiros anos de vigência da RE 176.

II - ABRANGÊNCIA

O Grupo Técnico Assessor elaborou a seguinte Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, no que diz respeito a definição de valores máximos recomendáveis para contaminação biológica, química e parâmetros físicos do ar interior, a identificação das fontes poluentes de natureza biológica, química e física, métodos analíticos (Normas Técnicas 001, 002, 003 e 004) e as recomendações para controle (Quadros I e II).

Recomendou que os padrões referenciais adotadas por esta Orientação Técnica sejam aplicados aos ambientes climatizados de uso público e coletivo já existentes e aqueles a serem instalados. Para os ambientes climatizados de uso restrito, com exigências de filtros absolutos ou instalações especiais, tais como os que atendem a processos produtivos, instalações hospitalares e outros, sejam aplicadas as normas e regulamentos específicos.

III - DEFINIÇÕES

Para fins desta Orientação Técnica são adotadas as seguintes definições, complementares às adotadas na Portaria GM/MS n.º 3.523/98:

Aerodispersóides: sistema disperso, em um meio gasoso, composto de partículas sólidas e/ou líquidas. O mesmo que aerosol ou aerossol.

a) Ambiente aceitável: ambientes livres de contaminantes em concentrações potencialmente perigosas à saúde dos ocupantes ou que apresentem um mínimo de 80% dos ocupantes destes ambientes sem queixas ou sintomatologia de desconforto, 2

b) Ambientes climatizados: são os espaços fisicamente determinados e caracterizados por dimensões e instalações próprias, submetidos ao processo de climatização, através de equipamentos.

- c) Ambiente de uso público e coletivo: espaço fisicamente determinado e aberto a utilização de muitas pessoas.
- d) Ar condicionado: é o processo de tratamento do ar, destinado a manter os requerimentos de Qualidade do Ar Interior do espaço condicionado, controlando variáveis como a temperatura, umidade, velocidade, material particulado, partículas biológicas e teor de dióxido de carbono (CO₂).
- e) Padrão Referencial de Qualidade do Ar Interior: marcador qualitativo e quantitativo de qualidade do ar ambiental interior, utilizado como sentinela para determinar a necessidade da busca das fontes poluentes ou das intervenções ambientais
- f) Qualidade do Ar Ambiental Interior: Condição do ar ambiental de interior, resultante do processo de ocupação de um ambiente fechado com ou sem climatização artificial.
- g) Valor Máximo Recomendável: Valor limite recomendável que separa as condições de ausência e de presença do risco de agressão à saúde humana.

IV - PADRÕES REFERENCIAIS

Recomenda os seguintes Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados de uso público e coletivo.

1 – Valor Máximo Recomendável – VRM para contaminação microbiológica deve ser ≤ 750 ufc/m³ de fungos, para a relação de I/E $\leq 1,5$ onde I é a quantidade de fungos no ambiente interior e E é a quantidade de fungos no ambiente exterior

NOTA: A relação I/E é exigida como forma de avaliação frente ao conceito de normalidade, representado pelo meio ambiente exterior e a tendência epidemiológica de amplificação dos poluentes nos ambientes fechados.

1.1 - Quando o VMR for ultrapassado ou a relação I/E for $> 1,5$, é necessário fazer um diagnóstico de fontes poluentes para uma intervenção corretiva.

1.2 - É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos.

2 - Os Valores Máximos Recomendáveis para contaminação química são:

2.1 - ≤ 1000 ppm de dióxido de carbono - (CO₂) , como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar².

2.2 - ≤ 80 µg/m³ de aerodispersóides totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado⁴.

NOTA: Pela falta de dados epidemiológicos brasileiros é mantida a recomendação como indicador de renovação do ar o valor = 1000 ppm de Dióxido de carbono - CO₂

3 - Os valores recomendáveis para os parâmetros físicos de temperatura, umidade, velocidade e taxa de renovação do ar e de grau de pureza do ar, deverão estar de acordo com a NBR 6401 - Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas⁵.

3.1 - a faixa recomendável de operação das Temperaturas de Bulbo Seco, nas condições internas para verão, deverá variar de 23°C a 26°C, com exceção de ambientes de arte que deverão operar entre 21°C e 23°C. A faixa máxima de operação deverá variar de 26,5°C a 27°C, com exceção das áreas de acesso que poderão operar até 28°C. A seleção da faixa depende da finalidade e do local da instalação. Para condições internas para inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 20°C a 22°C.

3.2 - a faixa recomendável de operação da Umidade Relativa, nas condições internas para verão, deverá variar de 40% a 65%, com exceção de ambientes de arte que deverão operar entre 40% e 55% durante todo o ano. O valor máximo de operação deverá ser de 65%, com exceção das áreas de acesso que poderão operar até 70%. A seleção da faixa depende da finalidade e do local da instalação. Para condições internas para inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 35% a 65%.

3.3 - o Valor Máximo Recomendável - VMR de operação da Velocidade do Ar, no nível de 1,5m do piso, na região de influência da distribuição do ar é de menos 0,25 m/s.

3.4 - a Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas. Nestes casos a Taxa de Renovação do Ar mínima será de 17 m³/hora/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO₂, maior ou igual a estabelecida em IV-2.1, desta Orientação Técnica.

3.5 - a utilização de filtros de classe G1 é obrigatória na captação de ar exterior. O Grau de Pureza do Ar nos ambientes climatizados será obtido utilizando-se, no mínimo, filtros de classe G-3 nos condicionadores de sistemas centrais, minimizando o acúmulo de sujidades nos dutos, assim como reduzindo os níveis de material particulado no ar insuflado².

Os padrões referenciais adotados complementam as medidas básicas definidas na Portaria GM/MS n.º 3.523/98, de 28 de agosto de 1998, para efeito de reconhecimento, avaliação e controle da Qualidade do Ar Interior nos ambientes climatizados. Deste modo poderão subsidiar as decisões do responsável técnico pelo gerenciamento do sistema de climatização, quanto a definição de periodicidade dos procedimentos de limpeza e manutenção dos componentes do sistema, desde que asseguradas as frequências mínimas para os seguintes componentes, considerados como reservatórios, amplificadores e disseminadores de poluentes.

Componente	Periodicidade
Tomada de ar externo	Limpeza mensal ou quando descartável até sua obliteração (máximo 3 meses)
Unidades filtrantes	Limpeza mensal ou quando descartável até sua obliteração (máximo 3 meses)
Bandeja de condensado	Mensal*
Serpentina de aquecimento	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Serpentina de resfriamento	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Umidificador	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Ventilador	Semestral
Plenum de mistura/casa de máquinas	Mensal

* - Excetuando na vigência de tratamento químico contínuo que passa a respeitar a periodicidade indicada pelo fabricante do produto utilizado.

V - FONTES POLUENTES

Recomenda que sejam adotadas para fins de pesquisa e com o propósito de levantar dados sobre a realidade brasileira, assim como para avaliação e correção das situações encontradas, as possíveis fontes de poluentes informadas nos Quadros I e II.

QUADRO I

Possíveis fontes de poluentes biológicos

Agentes biológicos	Principais fontes em ambientes interiores	Principais Medidas de correção em ambientes interiores
Bactérias	Reservatórios com água estagnada, torres de resfriamento, bandejas de condensado, desumificadores, umidificadores, serpentinas de condicionadores de ar e superfícies úmidas e sujas.	Realizar a limpeza e a conservação dos reservatórios, manter tratamento contínuo para eliminar as fontes; higienizar as superfícies; higienizar as superfícies.
Fungos	Ambientes úmidos e demais fontes de multiplicação fúngica, como materiais porosos orgânicos úmidos, forros, paredes e isolamentos úmidos; ar externo, interior de condicionadores e dutos sem manutenção, vasos de terra com plantas.	Corrigir a umidade ambiental, manter sob controle rígido vazamentos, infiltrações e condensação de água; higienizar os ambientes e componentes do sistema de climatização ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes; eliminar materiais porosos contaminados; eliminar ou restringir vasos de plantas com cultivo em terra, ou substituir pelo cultivo em água (hidroponia); utilizar filtros G-1 na renovação de ar externo.
Protozoários	Reservatórios de água contaminada, bandejas e umidificadores de condicionadores sem manutenção.	Higienizar o reservatório ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes.
Vírus	Hospedeiro humano.	Adequar o número de ocupantes por m ² de área com aumento da renovação de ar; evitar a presença de pessoas infectadas nos ambientes climatizados.
Algas	Torres de resfriamento e bandejas de condensado.	Higienizar os reservatórios e bandejas de condensado ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes.
Pólen	Air externo.	Manter filtração de acordo com NBR-6401 da ABNT.
Artrópodes	Poeira caseira.	Higienizar as superfícies fixas e mobiliário, especialmente as revestidas com tecidos e tapetes; restringir ou eliminar o uso desses revestimentos.
Animais	Rodadores, invertebrados e aves.	Restringir o acesso, controlar os roedores, os insetos, ninhos de aves e respectivos excrementos.

QUADRO II
Possíveis fontes de poluentes químicos⁷

Agentes químicos	Principais fontes em ambientes interiores	Principais medidas de correção em ambientes interiores
CO	Combustão (cigarros, queimadores de fogões e veículos automotores).	Mantiver a captação de ar exterior com baixa concentração de poluentes; restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão; eliminar a infiltração de CO proveniente de fontes externas; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
CO ₂	Produtos de metabolismo humano e combustão.	Aumentar a renovação de ar externo; restringir as fontes de combustão e o tabagismo em áreas fechadas; eliminar a infiltração de fontes externas.
NO ₂	Combustão.	Restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão; impedir a infiltração de NO ₂ proveniente de fontes externas; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
O ₃	Máquinas copadoras e impressoras a laser.	Adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores, com exaustão do ambiente ou enclausramento em locais exclusivos para os equipamentos que apresentem grande capacidade de produção de O ₃ .
Formaldeído	Materiais de acabamento, mobiliário, cola, produtos de limpeza domissanitários.	Selecionar os materiais de construção, acabamento e mobiliário que possuam ou emitam menos formaldeído; usar produtos domissanitários que não contenham formaldeído.
Material particulado	Poeira e fibras.	Mantiver filtragem de acordo com NBR-6402 da ABNT; evitar isolamento termo-acústico que possa emitir fibras minerais, orgânicas ou sintéticas para o ambiente climatizado; reduzir as fontes internas e externas; higienizar as superfícies fixas e mobiliários sem o uso de vassouras, esponjas ou esponjadores; selecionar os materiais de construção e acabamento com menor porosidade; adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores (vide biofílicos); restringir o tabagismo em áreas fechadas.
Fumo de tabaco	Queima de cigarro, charuto, cachimbo, etc.	Aumentar a quantidade de ar externo admitido para renovação e/ou exaustão dos poluentes; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
COV	Cera, mobiliário, produtos usados em limpeza e domissanitários, solventes, materiais de revestimento, tintas, colas, etc.	Selecionar os materiais de construção, acabamento, mobiliário; usar produtos de limpeza e domissanitários que não contenham COV ou que não apresentem alta taxa de volatilização e toxicidade.
COS-V	Queima de combustíveis e utilização de pesticidas.	Eliminar a contaminação por fontes pestíferas, inseticidas e a queima de combustíveis; manter a captação de ar exterior afastada de poluentes.

COV - Compostos Orgânicos Voláteis,
COS-V - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis.

Observações - Os poluentes indicados são aqueles de maior ocorrência nos ambientes de interior, de efeitos conhecidos na saúde humana e de mais fácil detecção pela estrutura laboratorial existente no país.

Outros poluentes que venham a ser considerados importantes serão incorporados aos indicados, desde que atendam ao disposto no parágrafo anterior.

VI - AVALIAÇÃO E CONTROLE

Recomenda que sejam adotadas para fins de avaliação e controle do ar ambiental interior dos ambientes climatizados de uso coletivo, as seguintes Normas Técnicas 001, 002, 003 e 004.

Na elaboração de relatórios técnicos sobre qualidade do ar interior, é recomendada a NBR-10.719 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

1 World Health Organization. Indoor air quality: biological contaminants; Copenhagen, Denmark, 1983 (European Series nº 31).

2 American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE Standard 62 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2001

3 Kulcsar Neto, F & Siqueira, LFG. Padrões Referenciais para Análise de Resultados de Qualidade Microbiológica do Ar em Interiores Visando a Saúde Pública no Brasil - Revista da Brasindoor . 2 (10): 4-21,1999.

4 Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução n.º 03 de 28/06 /1990.

5 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6401 - Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto, 1980.

6 Siqueira, LFG & Dantas, EHM. Organização e Métodos no Processo de Avaliação da Qualidade do Ar de Interiores - Revista da Brasindoor, 3 (1): 19-26, 1999.

7 Aquino Neto, F.R; Brickus, L.S.R. Padrões Referenciais para Análise de Resultados da Qualidade Físico-química do Ar de Interior Visando a Saúde Pública. Revista da Brasindoor, 3(2):4 -15,1999

NORMA TÉCNICA 001

Qualidade do Ar Ambiental Interior. Método de Amostragem e Análise de Bioaerosol em Ambientes Interiores.

MÉTODO ANALÍTICO

OBJETIVO: Pesquisa, monitoramento e controle ambiental da possível colonização, multiplicação e disseminação de fungos em ar ambiental interior.

DEFINIÇÕES:

Bioaerosol: Suspensão de microrganismos (organismos viáveis) dispersos no ar.

Marcador epidemiológico: Elemento aplicável à pesquisa, que determina a qualidade do ar ambiental.

APLICABILIDADE: Ambientes de interior climatizados, de uso coletivo, destinados a ocupações comuns (não especiais).

MARCADOR EPIDEMIOLÓGICO: Fungos viáveis.

MÉTODO DE AMOSTRAGEM: Amostrador de ar por impactação com acelerador linear. **PERIODICIDADE:**

Semestral.

FICHA TÉCNICA DO AMOSTRADOR:

Amostrador: Impactador de 1, 2 ou 6 estágios.	
Meio de Cultivo: Agar Extrato de Malte, Agar Sabouraud Dextrose a 4%, Agar Batata Dextrose ou outro, desde que cientificamente validado.	
Taxa de Vazão: fixa entre 25 a 35 l/min, sendo recomendada 28,3 l/min.	
Tempo de Amostragem: de 5 a 15 minutos, dependendo das especificações do amostrador. Volume Mínimo: 140 l	
Volume Máximo: 500 l	
Embalagem: Rotina de embalagem para proteção da amostra com nível de biossegurança 2 (recipiente lacrado, devidamente identificado com símbolo de risco biológico)	
Transporte: Rotina de embalagem para proteção da amostra com nível de biossegurança 2 (recipiente lacrado, devidamente identificado com símbolo de risco biológico)	
Nota: Em áreas altamente contaminadas, pode ser recomendável uma amostragem com tempo e volume menores.	
Calibração: Semestral	Exatidão: $\pm 0,02$ l/min. Precisão: $\pm 99,92$ %

ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM:

- Selecionar 01 amostra de ar exterior localizada fora da estrutura predial na altura de 1,50 m do nível da rua.
- Definir o número de amostras de ar interior, tomando por base a área construída climatizada dentro de uma mesma edificação e razão social, seguindo a tabela abaixo:

Área construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

- as unidades funcionais dos estabelecimentos com características epidemiológicas diferenciadas, tais como serviço médico, restaurantes, creches e outros, deverão ser amostrados isoladamente.

- os pontos amostrais deverão ser distribuídos uniformemente e coletados com o amostrador localizado na altura de 1,5 m do piso, no centro do ambiente ou em zona ocupada.

PROCEDIMENTO LABORATORIAL: Método de cultivo e quantificação segundo normatizações universalizadas. Tempo mínimo de incubação de 7 dias a 25°C., permitindo o total crescimento dos fungos.

BIBLIOGRAFIA: "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater".

17 th ed. APHA, AWWA, WPC.F; "The United States Pharmacopeia". USP, XXIII ed., NF XVIII, 1985.

NIOSH- National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), BIOAEROSOL SAMPLING (Indoor Air) 0800, Fourth Edition.

IRSST - Institute de Recherche en Santé et en Sécurité du Travail du Quebec, Canada, 1994.

Members of the Technical Advisory Committee on Indoor Air Quality, Commission of Public Health Ministry of the Environment - Guidelines for Good Indoor Air Quality in Office Premises, Singapore.

NORMA TÉCNICA 002

Qualidade do Ar Ambiental Interior. Método de Amostragem e Análise da Concentração de Dióxido de Carbono em Ambientes Interiores.

MÉTODO ANALÍTICO

OBJETIVO: Pesquisa, monitoramento e controle do processo de renovação de ar em ambientes climatizados.

APLICABILIDADE: Ambientes interiores climatizados, de uso coletivo.

MARCADOR EPIDEMIOLÓGICO: Dióxido de carbono (CO₂).

MÉTODO DE AMOSTRAGEM: Equipamento de leitura direta.

PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DOS AMOSTRADORES:

Amostrador: Leitura Direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica.	
Calibração: Anual ou de acordo com especificação do fabricante.	Faixa: de 0 a 5.000 ppm. Exatidão: ± 50 ppm + 2% do valor medido

ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM:

- Definir o número de amostras de ar interior, tomando por base a área construída climatizada dentro de uma mesma edificação e razão social, seguindo a tabela abaixo:

Área construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

- As unidades funcionais dos estabelecimentos com características epidemiológicas diferenciadas, tais como serviço médico, restaurantes, creches e outros, deverão ser amostrados isoladamente.

- Os pontos amostrais deverão ser distribuídos uniformemente e coletados com o amostrador localizado na altura de 1,5 m do piso, no centro do ambiente ou em zona ocupada.

PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM: As medidas deverão ser realizadas em horários de pico de utilização do ambiente.

NORMA TÉCNICA 003

Qualidade do Ar Ambiental Interior. Método de Amostragem. Determinação da Temperatura, Umidade e Velocidade do Ar em Ambientes Interiores.

MÉTODO ANALÍTICO

OBJETIVO: Pesquisa, monitoramento e controle do processo de climatização de ar em ambientes climatizados. APLICABILIDADE: Ambientes interiores climatizados, de uso coletivo.

MARCADORES: Temperatura do ar (°C) Umidade do ar (%)

Velocidade do ar (m/s). MÉTODO DE AMOSTRAGEM:

Equipamentos de leitura direta. Termo higrômetro e Anemômetro.

PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DOS AMOSTRADORES:

Amostrador: Leitura Direta - Termo-higrômetro.	
Princípio de operação: Sensor de temperatura do tipo termo-resistência. Sensor de umidade do tipo capacitivo ou por condutividade elétrica.	
Calibração: Anual	Faixa: 0° C a 70° C de temperatura 5% a 95 % de umidade Exatidão: ± 0,8 ° C de temperatura ± 5% do valor medido de umidade

Amostrador: Leitura Direta - Anemômetro.	
Princípio de operação: Preferencialmente de sensor de velocidade do ar do tipo fio aquecido ou fio térmico.	
Calibração: Anual	Faixa: de 0 a 10 m/s Exatidão: ± 0,1 m/s ± 4% do valor medido

ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM

- Definir o número de amostras de ar interior, tomando por base a área construída climatizada dentro de uma mesma edificação e razão social, seguindo a tabela abaixo:

Área construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

-As unidades funcionais dos estabelecimentos com características epidemiológicas diferenciadas, tais como serviço médico, restaurantes, creches e outros, deverão ser amostrados isoladamente.

-Os pontos amostrais deverão ser distribuídos uniformemente e coletados com o amostrador localizado na altura de 1,5 m do piso, no centro do ambiente ou em zona ocupada, para o Termo higrômetro e no espectro de ação do difusor para o Anemômetro.

Norma Técnica 004

Qualidade do Ar Ambiental Interior. Método de Amostragem e Análise de Concentração de Aerodispersóides em Ambientes Interiores.

MÉTODO ANALÍTICO

OBJETIVO: Pesquisa, monitoramento e controle de aerodispersóides totais em ambientes interiores climatizados.

APLICABILIDADE: Ambientes de interior climatizados, de uso coletivo, destinados a ocupações comuns (não especiais).

MARCADOR EPIDEMIOLÓGICO: Poeira Total ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

MÉTODO DE AMOSTRAGEM: Coleta de aerodispersóides por filtração (MB-3422 da ABNT). PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DO AMOSTRADOR:

<p>Amostrador: Unidade de captação constituída por filtros de PVC, diâmetro de 37 mm e porosidade de 5 μm de diâmetro de poro específico para poeira total a ser coletada; Suporte de filtro em disco de celulose; Porta-filtro em plástico transparente com diâmetro de 37 mm.</p> <p>Aparelhagem: Bomba de amostragem, que mantenha ao longo do período de coleta, a vazão inicial de calibração com variação de 5%.</p> <p>Taxa de Vazão: 1,0 a 3,0 l/min, recomendado 2,0 l/min.</p> <p>Volume Mínimo: 50 l</p> <p>Volume Máximo: 400 l</p> <p>Tempo de Amostragem: relação entre o volume captado e a taxa de vazão utilizada</p> <p>Embalagem: Rotina</p>	
<p>Calibração: Em cada procedimento de coleta se operado com bombas diafragmáticas</p>	<p>Exatidão: $\pm 5\%$ do valor medido</p>

ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM:

- Definir o número de amostras de ar interior, tomando por base a área construída climatizada dentro de uma mesma edificação e razão social, seguindo a tabela abaixo:

Área construída (m²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

- As unidades funcionais dos estabelecimentos com características epidemiológicas diferenciadas, tais como serviço médico, restaurantes, creches e outros, deverão ser amostrados isoladamente.

- Os pontos amostrais deverão ser distribuídos uniformemente e coletados com o amostrador localizado na altura de 1,5 m do piso, no centro do ambiente ou em zona ocupada.

PROCEDIMENTO DE COLETA: MB-3422 da ABNT.

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DAS BOMBAS: NBR- 10.562 da ABNT

PROCEDIMENTO LABORATORIAL: NHO 17 da FUNDACENTRO

VII - INSPEÇÃO

Recomenda que os órgãos competentes de Vigilância Sanitária com o apoio de outros órgãos governamentais, organismos representativos da comunidade e dos ocupantes dos ambientes climatizados, utilizem esta Orientação Técnica como instrumento técnico referencial, na realização de inspeções e de outras ações pertinentes nos ambientes climatizados de uso público e coletivo.

VIII - RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Recomenda que os proprietários, locatários e prepostos de estabelecimentos com ambientes ou conjunto de ambientes dotados de sistemas de climatização com capacidade igual ou superior a 5 TR (15.000 kcal/h = 60.000 BTU/h), devam manter um responsável técnico atendendo ao determinado na Portaria GM/MS nº 3.523/98, além de desenvolver as seguintes atribuições:

- a) Providenciar a avaliação biológica, química e física das condições do ar interior dos ambientes climatizados;
- b) Promover a correção das condições encontradas, quando necessária, para que estas atendam ao estabelecido no Art. 4º desta Resolução;
- c) Manter disponível o registro das avaliações e correções realizadas; e

Divulgar aos ocupantes dos ambientes climatizados os procedimentos e resultados das atividades de avaliação, correção e manutenção realizadas.

Em relação aos procedimentos de amostragem, medições e análises laboratoriais, considera-se como responsável técnico, o profissional que tem competência legal para exercer as atividades descritas, sendo profissional de nível superior com habilitação na área de química (Engenheiro químico, Químico e Farmacêutico) e na área de biologia (Biólogo, Farmacêutico e Biomédico) em conformidade com a regulamentação profissional vigente no país e comprovação de Responsabilidade Técnica - RT, expedida pelo Órgão de Classe.

As análises laboratoriais e sua responsabilidade técnica devem obrigatoriamente estar desvinculadas das atividades de limpeza, manutenção e comercialização de produtos destinados ao sistema de climatização.

Título: Portaria nº 3523, de 28 de agosto de 1998

Ementa não oficial: Aprova Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização, para garantir a Qualidade do Ar de Interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados.

Publicação: D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 31 de agosto de 1998

Órgão emissor: MS - Ministério da Saúde

alcance do ato: federal - Brasil

Área de atuação: Mercosul

Saneantes

Tecnologia de Serviços de Saúde

Relacionamento(s):

Atos relacionados:

- [Lei nº 6437, de 20 de agosto de 1977](#)

PORTARIA Nº 3.523, DE 28 DE AGOSTO DE 1998

O Ministro de Estado da Saúde, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 87, Parágrafo único, item II, da Constituição Federal e tendo em vista o disposto nos artigos 6º, I, "a", "c", V, VII, IX, § 1º, I e II, § 3º, I a VI, da Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990;

Considerando a preocupação mundial com a Qualidade do Ar de Interiores em ambientes climatizados e a ampla e crescente utilização de sistemas de ar condicionado no país, em função das condições climáticas;

Considerando a preocupação com a saúde, o bem-estar, o conforto, a produtividade e o absenteísmo ao trabalho, dos ocupantes dos ambientes climatizados e a sua inter-relação com a variável qualidade de vida;

Considerando a qualidade do ar de interiores em ambientes climatizados e sua correlação com a Síndrome dos Edifícios Doentes relativa à ocorrência de agravos à saúde;

Considerando que o projeto e a execução da instalação, inadequados, a operação e a manutenção precárias dos sistemas de climatização, favorecem a ocorrência e

o agravamento de problemas de saúde;

Considerando a necessidade de serem aprovados procedimentos que visem minimizar o risco potencial à saúde dos ocupantes, em face da permanência prolongada em ambientes climatizados, resolve:

Art. 1º - Aprovar Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização, para garantir a Qualidade do Ar de Interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados.

Art. 2º - Determinar que serão objeto de Regulamento Técnico a ser elaborado por este Ministério, medidas específicas referentes a padrões de qualidade do ar em ambientes climatizados, no que diz respeito a definição de parâmetros físicos e composição química do ar de interiores, a identificação dos poluentes de natureza física, química e biológica, suas tolerâncias e métodos de controle, bem como pré-requisitos de projetos de instalação e de execução de sistemas de climatização.

Art. 3º - As medidas aprovadas por este Regulamento Técnico aplicam-se aos ambientes climatizados de uso coletivo já existentes e aqueles a serem executados e, de forma complementar, aos regidos por normas e regulamentos específicos.

Parágrafo Único - Para os ambientes climatizados com exigências de filtros absolutos ou instalações especiais, tais como aquelas que atendem a processos produtivos, instalações hospitalares e outros, aplicam-se as normas e regulamentos específicos, sem prejuízo do disposto neste Regulamento.

Art. 4º - Adotar para fins deste Regulamento Técnico as seguintes definições:

- a) Ambientes climatizados: ambientes submetidos ao processo de climatização.
- b) Ar de renovação: ar externo que é introduzido no ambiente climatizado.
- c) Ar de retorno: ar que recircula no ambiente climatizado.
- d) Boa qualidade do ar interno: conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas do ar que não apresentem agravos à saúde humana.
- e) Climatização: conjunto de processos empregados para se obter por meio de equipamentos em recintos fechados, condições específicas de conforto e boa qualidade do ar, adequadas ao bem-estar dos ocupantes.
- f) Filtro absoluto: filtro de classe A1 até A3, conforme especificações do Anexo II.

g) Limpeza: procedimento de manutenção preventiva que consiste na remoção de sujidade dos componentes do sistema de climatização, para evitar a sua dispersão no ambiente interno.

h) Manutenção: atividades técnicas e administrativas destinadas a preservar as características de desempenho técnico dos componentes ou sistemas de climatização, garantindo as condições previstas neste Regulamento Técnico.

i) Síndrome dos Edifícios Doentes: consiste no surgimento de sintomas que são comuns à população em geral, mas que, numa situação temporal, pode ser relacionado a um edifício em particular. Um incremento substancial na prevalência dos níveis dos sintomas, antes relacionados, proporciona a relação entre o edifício e seus ocupantes.

Art. 5º - Todos os sistemas de climatização devem estar em condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle, observadas as determinações, abaixo relacionadas, visando a prevenção de riscos à saúde dos ocupantes:

a) Manter limpos os componentes do sistema de climatização, tais como: bandejas, serpentinas, umidificadores, ventiladores e dutos, de forma a evitar a difusão ou multiplicação de agentes nocivos à saúde humana e manter a boa qualidade do ar interno.

b) Utilizar, na limpeza dos componentes do sistema de climatização, produtos biodegradáveis devidamente registrados no Ministério da Saúde para esse fim.

c) Verificar periodicamente as condições física dos filtros e mantê-los em condições de operação. Promover a sua substituição quando necessária.

d) Restringir a utilização do compartimento onde está instalada a caixa de mistura do ar de retorno e ar de renovação, ao uso exclusivo do sistema de climatização. É proibido conter no mesmo compartimento materiais, produtos ou utensílios.

e) Preservar a captação de ar externo livre de possíveis fontes poluentes externas que apresentem riscos à saúde humana e dotá-la no mínimo de filtro classe G1 (um), conforme as especificações do Anexo II.

f) Garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja no mínimo de 27m³/h/pessoa.

g) Descartar as sujidades sólidas, retiradas do sistema de climatização após a limpeza, acondicionadas em sacos de material resistente e porosidade adequada, para evitar o espalhamento de partículas inaláveis.

Art. 6º - Os proprietários, locatários e prepostos, responsáveis por sistemas de climatização com capacidade acima de 5 TR (15.000 kcal/h = 60.000 BTU/H), deverão manter um responsável técnico habilitado, com as seguintes atribuições:

- a) Implantar e manter disponível no imóvel um Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC, adotado para o sistema de climatização. Este Plano deve conter a identificação do estabelecimento que possui ambientes climatizados, a descrição das atividades a serem desenvolvidas, a periodicidade das mesmas, as recomendações a serem adotadas em situações de falha do equipamento e de emergência, para garantia de segurança do sistema de climatização e outros de interesse, conforme especificações contidas no Anexo I deste Regulamento Técnico e NBR 13971/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.
- b) Garantir a aplicação do PMOC por intermédio da execução contínua direta ou indireta deste serviço.
- c) Manter disponível o registro da execução dos procedimentos estabelecidos no PMOC.
- d) Divulgar os procedimentos e resultados das atividades de manutenção, operação e controle aos ocupantes.

Parágrafo Único - O PMOC deverá ser implantado no prazo máximo de 180 dias, a partir da vigência deste Regulamento Técnico.

Art. 7º - O PMOC do sistema de climatização deve estar coerente com a legislação de Segurança e Medicina do Trabalho. Os procedimentos de manutenção, operação e controle dos sistemas de climatização e limpeza dos ambientes climatizados, não devem trazer riscos a saúde dos trabalhadores que os executam, nem aos ocupantes dos ambientes climatizados.

Art. 8º - Os órgãos competentes de Vigilância Sanitária farão cumprir este Regulamento Técnico, mediante a realização de inspeções e de outras ações pertinentes, com o apoio de órgãos governamentais, organismos representativos da comunidade e ocupantes dos ambientes climatizados.

Art. 9º - O não cumprimento deste Regulamento Técnico configura infração sanitária, sujeitando o proprietário ou locatário do imóvel ou preposto, bem como o responsável técnico, quando exigido, às penalidades previstas na Lei nº 6.437, de 20 de agosto de 1977, sem prejuízo de outras penalidades previstas em legislação

específica.

Art. 10 - Esta Portaria entra em vigor na data da sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

JOSÉ SERRA

ANEXO I

PLANO DE MANUTENÇÃO, OPERAÇÃO E CONTROLE - PMOC

1 - Identificação do Ambiente ou Conjunto de Ambientes:

Nome (Edifício/Entidade)			
Endereço completo			Nº
Complemento	Bairro	Cidade	UF
Telefone		Fax	

2 - Identificação do () Proprietário, () Locatário ou () Preposto:

Nome/Razão Social	CIC/CGC
Endereço completo	Tel./Fax/Endereço Eletrônico

3 - Identificação do Responsável Técnico:

Nome/Razão Social	CIC/CGC
Endereço completo	Tel./Fax/Endereço Eletrônico
Registro no Conselho de Classe	ART*

*ART = Anotação de Responsabilidade Técnica

4 - Relação dos Ambientes Climatizados:

Tipo de Atividade	Nº de Ocupantes		Identificação do Ambiente ou Conjunto de Ambientes	Área Climatizada Total	Carga Térmica
	Fixos	Flutuantes			
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

NOTA: anexar Projeto de instalação do sistema de climatização.

5 - Plano de Manutenção e Controle

Descrição da atividade	Periodicidade	Data de Execução	Executado Por	Aprovado Por
a) Condicionador de Ar (do tipo "expansão direta" e "água gelada")				
Verificar e eliminar sujeira, Danos e Corrosão No Gabinete, na moldura da Serpentina e na bandeja;	-	-	-	-
Limpar as Serpentinhas e Bandejas	-	-	-	-
Verificar a Operação dos Controles de vazão;	-	-	-	-
Verificar a Operação de Drenagem de Água da Bandeja;	-	-	-	-
Verificar o Estado de Conservação do isolamento termo-acústico;	-	-	-	-
verificar a vedação dos painéis de fechamento do gabinete;	-	-	-	-
verificar a tensão das correias para evitar o escorregamento;	-	-	-	-
lavar as bandejas e serpentinas com remoção do biofilme (lodo), sem o uso de produtos desengraxantes e corrosivos;	-	-	-	-
limpar o gabinete do condicionador e ventiladores (carcaça e rotor).	-	-	-	-

verificar os filtros de ar:	-	-	-	-
- filtros de ar (secos)	-	-	-	-
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;	-	-	-	-
medir o diferencial de pressão;	-	-	-	-
verificar e eliminar as frestas dos filtros;	-	-	-	-
Limpar (Quando Recuperável) ou Substituir (Quando Descartável) o Elemento filtrante.	-	-	-	-
- filtros de ar (Embebidos em óleo)	-	-	-	-
Verificar e eliminar sujeira, Danos e corrosão;	-	-	-	-
Medir o Diferencial de Pressão;	-	-	-	-
Verificar e Eliminar as Frestas dos filtros;	-	-	-	-
Lavar o filtro com produto Desengraxante e inodoro;	-	-	-	-
Pulverizar Com Óleo (Inodoro) e Escorrer, Mantendo uma fina película de óleo.	-	-	-	-
b) Condicionador de Ar (do tipo "com condensador remoto" e "janela")				
Verificar e eliminar sujeira, Danos e Corrosão no Gabinete, na Moldura da Serpentina e na bandeja;	-	-	-	-
Verificar a Operação De Drenagem De Água da Bandeja;	-	-	-	-
Verificar o Estado De Conservação Do isolamento Termo acústico (se está Preservado e Se Não Contém bolor);	-	-	-	-
Verificar a Vedação Dos Painéis De Fechamento do Gabinete;	-	-	-	-

Levar As Bandejas e Serpentina Com Remoção Do biofilme (lodo), sem o Uso De Produtos	-	-	-	-
Desengraxastes Corrosivos				
Limpar o gabinete do Condicionador;	-	-	-	-
Verificar os filtros de ar.	-	-	-	-
- filtros de ar	-	-	-	-
Verificar e eliminar sujeira, Danos e corrosão;	-	-	-	-
Verificar e eliminar as Frestas dos filtros;	-	-	-	-
Limpar o elemento filtrante.	-	-	-	-
c) Ventiladores				
Verificar e eliminar sujeira, Danos e corrosão;	-	-	-	-
Verificar a fixação;	-	-	-	-
Verificar o ruído dos Mancais;	-	-	-	-
Lubrificar os mancais;	-	-	-	-
Verificar a tensão das Correias Para Evitar o Escorregamento;	-	-	-	-
Verificar vazamentos nas Ligações flexíveis;	-	-	-	-
Verificar a operação dos Amortecedores de vibração;	-	-	-	-
Verificar a instalação dos Protetores De Polias e Correias;	-	-	-	-
Verificar a operação dos Controles de vazão;	-	-	-	-
Verificar a drenagem de Água;	-	-	-	-
Limpar Interna e Externamente a carcaça e o Rotor.	-	-	-	-
d) Casa de Máquinas do Condicionador de Ar				
Verificar e eliminar sujeira e Água;	-	-	-	-

Verificar e eliminar corpos Estranhos;	-	-	-	-
Verificar e eliminar as Obstruções No Retorno e Tomada de ar externo;	-	-	-	-
Elemento filtrante;				
Verificar e eliminar sujeira, - registro de ar ("damper") de retorno (ver obs. 2)	-	-	-	-
Dano e corrosão;				
Verificar e eliminar sujeira. Verificar o Funcionamento Dos Dispositivos De Segurança;	-	-	-	-
Danos e corrosão;				
Verificar o seu acionamento Mecânico;	-	-	-	-
Limpar a face de passagem Do fluxo de ar. Medir a vazão;				
- umidificador de ar com tubo difusor (ver obs. 1)				
- registro de ar ("damper") corta fogo (quando houver)				
Verificar e eliminar sujeira, Verificar o certificado de Danos e corrosão;	-	-	-	-
Teste;				
Verificar a operação da Válvula de controle; Nos Elementos De Ajustamento Da haste Da válvula de controle, Reabertura;	-	-	-	-
Purgar a água do sistema;	-	-	-	-
Verificar O Funcionamento Dos Elementos De Fechamento Caixa d'água de reposição;	-	-	-	-
Verificar O Funcionamento Dos Dispositivos De Segurança;	-	-	-	-
Verificar O Posicionamento de indicadores de condições (Aberto ou fechado) e Decodificado ("damper") de gravidade (venezianas automáticas)	-	-	-	-
Verificar e eliminar sujeira (ver obs. 2)	-	-	-	-
Danos e corrosão;				
Verificar o Acionamento Mecânico;	-	-	-	-
Verificar a fixação;	-	-	-	-
Medir a vazão;	-	-	-	-
Observações:				
Medir a vazão;	-	-	-	-
Verificar e eliminar as Frestas dos filtros;	-	-	-	-
Verificar o Acionamento Mecânico do registro de ar ("damper")	-	-	-	-
Limpar (Quando Recuperável) Ou substituir (Quando Descartável) o	-	-	-	-

1. Não é recomendado o uso de umidificador de ar por aspersão que possui bacia de água no interior do duto de insuflamento ou no gabinete do condicionador.

2. É necessária a existência de registro de ar no retorno e tomada de ar externo, para garantir a correta vazão de ar no sistema.

e) Dutos, Acessórios e Caixa Pleno para o Ar

Verificar e eliminar sujeira (Interna e externa), danos e Corrosão;	-	-	-	-
Verificar a vedação das Portas de inspeção Em Operação normal;	-	-	-	-
Verificar e eliminar danos No isolamento térmico;	-	-	-	-
Verificar a vedação das Conexões.	-	-	-	-

- bocas de ar para insuflamento e retorno do ar

Verificar e eliminar sujeira, Danos e corrosão;	-	-	-	-
Verificar a fixação;	-	-	-	-
Medir a vazão;	-	-	-	-
- dispositivos de bloqueio e Balanceamento	-	-	-	-

Verificar e Eliminar Sujeira, Danos e corrosão;	-	-	-	-
Verificar o funcionamento;	-	-	-	-

f) Ambientes Climatizados

Verificar e Eliminar Sujeira, Odores Desagradáveis, Fontes De Ruídos, Infiltrações, Armazenagem De Produtos Químicos, Fontes de radiação de calor Excessivo, e Fontes de Geração De Microrganismos;	-	-	-	-
---	---	---	---	---

g) Torre de Resfriamento

Verificar e Eliminar Sujeira, Danos e corrosão;	-	-	-	-
---	---	---	---	---

Notas:

As práticas de manutenção acima devem ser aplicadas em conjunto com as recomendações de manutenção mecânica da NBR 13.971 - Sistemas de Refrigeração. Condicionamento de Ar e Ventilação - Manutenção Programada da ABNT,

assim como aos edifícios da Administração Pública Federal o disposto no capítulo Práticas de Manutenção, Anexo 3, itens 2.6.3 e 2.6.4 da Portaria nº 2.296/97, de 23 de julho de 1997, Práticas de Projeto, Construção e Manutenção dos Edifícios Públicos Federais, do Ministério da Administração Federal e Reformas de Estado - MARE. O somatório das práticas de manutenção para garantia do ar e manutenção programada visando o bom funcionamento e desempenho térmico dos sistemas, permitirá o correto controle dos ajustes das variáveis de manutenção e controle dos poluentes dos ambientes.

1) Todos os produtos utilizados na limpeza dos componentes dos sistemas de climatização, devem ser biodegradáveis e estarem devidamente registrados no Ministério da Saúde para esse fim.

2) Toda verificação deve ser seguida dos procedimentos necessários para o funcionamento correto do sistema de climatização.

6 - Recomendações aos usuários em situações de falha do equipamento e outras de emergência:

Descrição:
-

ANEXO II

CLASSIFICAÇÃO DE FILTROS DE AR PARA UTILIZAÇÃO EM AMBIENTES CLIMATIZADOS, CONFORME RECOMENDAÇÃO NORMATIVA 004-1995 da SBCC

Classe de filtro	Eficiência (%)	
	Grossos	G0
-	G1	60-74
-	G2	75-84
-	G3	85 e acima
Finos	F1	40-69
-	F2	70-89
-	F3	90 e acima
Absolutos	A1	85-94, 9
-	A2	95-99, 96
-	A3	99, 97 e acima

Notas:

1) métodos de ensaio:

Classe G: Teste gravimétrico, conforme ASHRAE*

52.1 - 1992 (*arrestance*) Classe F: Teste colorimétrico,

conforme ASHRAE 52.1 - 1992 (*dust spot*) Classe A:

Teste fotométrico DOP TEST, conforme U.S. Militar

Standart 282

*ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc.*

2) Para classificação das áreas de contaminação controlada, referir-se a NBR 13.700 de junho de 1996, baseada na *US Federal Standart 209E* de 1992.

3) SBCC – Sociedade Brasileira de Controle da Contaminação

4) SBCC - Sociedade Brasileira de Controle da Contaminação.