



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**MECÂNICA**

**ANÁLISE CRÍTICA DA NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 16401-1  
(INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO – SISTEMAS CENTRAIS E  
UNITÁRIOS PARTE 1 - PROJETO DAS INSTALAÇÕES), 16401-2  
(PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO) E 16401-3 (QUALIDADE  
DO AR INTERIOR)**

**José Carlos Alfredo**

**Belo Horizonte, 31 de Agosto de 2011**

José Carlos Alfredo

**ANÁLISE CRÍTICA DA NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 16401-1  
(INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO – SISTEMAS CENTRAIS E UNITÁRIOS  
PARTE 1 - PROJETO DAS INSTALAÇÕES), 16401-2 (PARÂMETROS DE  
CONFORTO TÉRMICO) E 16401-3 (QUALIDADE DO AR INTERIOR)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Calor e Fluidos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nicolau Nassar Koury  
(Universidade Federal de Minas Gerais).

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Machado  
(Universidade Federal de Minas Gerais)

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2011



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Programa de Pós-Graduação em**  
**Engenharia Mecânica**

Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário  
31270-901 - Belo Horizonte – MG  
Tel.: +55 31 3499-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783  
E-mail: [cpgmec@demec.ufmg.br](mailto:cpgmec@demec.ufmg.br)

**ANÁLISE CRÍTICA DA NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 16401-1  
(INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO – SISTEMAS CENTRAIS E UNITÁRIOS  
PARTE 1 - PROJETO DAS INSTALAÇÕES), 16401-2 (PARÂMETROS DE  
CONFORTO TÉRMICO) E 16401-3 (QUALIDADE DO AR INTERIOR)**

**JOSÉ CARLOS ALFREDO**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais em 31/08/2011, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “**Mestre em Engenharia Mecânica**”, na área de concentração de “**Calor e fluidos**”.

**PROF. RICARDO NICOLAU NASSAR KOURY**

Orientador – Doutor, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG

**PROF. LUIZ MACHADO**

Coorientador – Doutor, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG

**PROF. LUIS CLÁUDIO ALVARENGA CRESPO**

Doutor, ENGEFRIL

**PROF. FABRÍCIO JOSÉ PACHECO PUJATTI**

Doutor, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG



Dedico este trabalho aos meus filhos, Arthur, André e Felipe e à Mara.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores do curso de pós-graduação da UFMG, em especial ao meu Orientador, Dr. Ricardo Koury e ao meu Coorientador, Dr. Luiz Machado, pelo grande incentivo.

À Caixa Econômica Federal, pela oportunidade de aprender a ciência da Refrigeração e do Ar-condicionado em meu trabalho diário ao longo dos últimos 19 anos.

Aos clientes, fornecedores, colaboradores e parceiros da ENGESCOM – Refrigeração e Ar-condicionado Ltda., pela oportunidade de colocar em prática tudo que venho aprendendo.

A todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram-me nesta caminhada.

"Tudo flui e nada permanece; tudo se afasta e nada fica parado...  
você não consegue se banhar duas vezes no mesmo rio,  
pois outras águas e ainda outras sempre vão fluindo...  
é na mudança que as coisas acham repouso..."

Heráclito (540-480 a.C.)

## RESUMO

Esta dissertação tem como tema as instalações de ar-condicionado e como objeto de estudo a Norma Brasileira ABNT NBR 16.401/2008 (Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários, partes 1, 2 e 3, respectivamente, Projetos das Instalações, Parâmetros de Conforto Térmico e Qualidade do Ar Interior). Como objetivo, pretende apresentar, facilitar a compreensão e promover uma reflexão a respeito da Norma supracitada tanto para estudantes, docentes, profissionais da área e demais interessados; compará-la com outras Normas, Resoluções e Portarias; identificar seus impactos em diversos aspectos, inclusive na manutenção; e propor melhorias para sua próxima edição. Como essa Norma foi elaborada aproveitando em grande parte a experiência adquirida na formulação de várias normas internacionais, em especial as normas oriundas da *American Society Of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, e considerando que tais normas vêm constantemente sendo atualizadas, alguns aspectos da Norma brasileira já demandam atualizações. Em primeiro lugar, este trabalho apresenta o ciclo de refrigeração e seus diversos tipos de equipamentos; em segundo, apresenta a Norma Brasileira ABNT NBR 16.401/2008 seguida de outras Normas, Resoluções e Portarias; em terceiro, promove discussão e análise crítica da Norma em estudo e a sua utilização prática; por fim, apresenta as considerações finais e as sugestões para novos trabalhos. Como metodologia, foram feitas leituras e análises das Normas brasileiras e internacionais sobre o assunto, assim como reuniões com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento; reuniões com a ABNT (CB-55); reuniões com profissionais da área, agregando-se a esse processo teórico-reflexivo a experiência profissional de dezenove anos do autor. Sabe-se que o conhecimento se dá por meio de diversas formas, desde as lições básicas dos primeiros anos do ensino fundamental até um constante processo de pesquisa; e que, após adquirir o conhecimento, as pessoas passam a utilizá-lo e a testá-lo no dia-a-dia, seja no trabalho, na academia ou em ambos. Nessa perspectiva, o desenvolvimento deste estudo se faz relevante, pois foi assim que se percebeu uma série de oportunidades de melhorias que se fizeram revelar pelas reflexões comparativas da Norma Brasileira em análise, outras Normas, Resoluções e Portarias que discorrem sobre a mesma temática e as reflexões do autor. Acredita-se que, se as oportunidades de melhorias sinalizadas neste estudo, como atualização periódica, revisão ortográfica, revisão da parte relativa à filtragem do ar, definição mais clara de seu objetivo, melhor definição do que é sistema de ar-condicionado central, introdução do termo “circuito”, dentre outras, forem implementadas, o país poderá dotar-se de uma

excelente Norma destinada à área de ar-condicionado, conforto térmico e qualidade do ar interior; o que, conseqüentemente, atenderia ainda melhor às exigências e às expectativas do mercado de refrigeração e ar-condicionado brasileiro.

**Palavras-chave: Ar-condicionado, ABNT NBR 6401/1980, ABNT NBR 16401/2008, Qualidade do Ar Interior, Instalações, Conforto Térmico.**

## ABSTRACT

The present issue turns around Air-conditioning installation and aims to study the Brazilian Standard ABNT NBR 16.401/2008 (Air-conditioning Installations – Central and Unitarian Systems, parts 1, 2 and 3, respectively, Installations Projects, Thermal Comfort Parameters, and Indoor Air Quality). Its goal is to present and make it easier to understand, as well as to stimulate a reflection around the same Standard, directed to students, professors, professionals on that area and everyone interested into it. It will be also compared to other similar Norms, Resolutions and Regulations; it intends to recognize its impacts in different sectors, including maintenance, and to suggest improvements for its new future edition. As this Norm has been elaborated taking advantage of previous acquired experience of international Regulations, most of it from *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, and having in mind that such regulations are updated regularly from time to time, some aspects of the Brazilian Standard demand already to be updated. In first place, this dissertation presents the basic refrigeration cycle and its different kinds of equipments; secondly, it presents the Brazilian Standard ABNT NBR 16.401/2008 according to other Standards, Resolutions and Regulations; thirdly, it promotes the debate and critical analysis of the Norm for study and its practical utilization. To conclude the study, presents its final considerations as well as suggestions for new works. The methodology for present study we took lectures and made an analysis of Brazilian and International Regulations on the subject, we held meetings with the Brazilian Refrigeration, Air-conditioning, Ventilation and Heating Association; other meetings with ABNT (CB-55) and similar meetings with professionals on that area, not to mention, beside all theoretical-reflexive process, the professional experience of the author's nineteen years on the job. We know that knowledge is acquired through different ways, from the basic lessons held in elementary school and going on and on by means of continual research process, so that, when we got to have the know-how, people start to use and test it on daily life, at work, at school or at both. Under this perspective, the development of this study is significant because through it we can seize a number of opportunities to improve, which can be showed by comparatives thoughts over the Brazilian Standard, other Standards, Regulations and Resolutions around the theme, and the author's own reflections. We believe that, if the opportunities to improve marked on this study are seized, that is, periodical updating, orthographic revision, air filter revision, a clearer definition of its goal, a better definition of what really means central air-conditioning system,

the introduction of the term “circuit”, and much more, our country will enjoy of an excellent Norm on air-conditioning, thermal comfort and Indoor Air Quality. This, obviously, would attend better Brazilian market demands and expectations in terms of refrigeration and air-conditioning.

**Key words: Air-conditioning, ABNT NBR 16401/2008, ABNT NBR 6401/1980, Indoor Air Quality (IAQ), Installations, Thermal Comfort.**

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ciclo básico de refrigeração.....	27
FIGURA 2: Diagrama pressão x entalpia do freon-22.....	28
FIGURA 3: Ciclo teórico de refrigeração por compressão de vapor.....	28
FIGURA 4-A: Compressor hermético do tipo Scroll marca ELGIN.....	30
FIGURA 4-B: Compressor Hermético do tipo alternativo.....	30
FIGURA 4-C: Compressor Hermético do tipo Rotativo marca ELGIN.....	31
FIGURA 4-D: Compressor Semi-hermético do tipo Parafuso.....	31
FIGURA 4-E: Compressor Semi-hermético do tipo Alternativo Aberto.....	31
FIGURA 4-F: Compressor Alternativo Semi-Hermético.....	32
FIGURA 4-G: Compressor Alternativo Semi-Hermético.....	32
FIGURA 4-H: Compressor Alternativo Semi-Hermético .....	32
FIGURA 4-I: Compressor Centrífugo.....	33
FIGURA 4-J: Compressor Centrífugo .....	33
FIGURA 5-A: Condensador resfriado a ar .....	34
FIGURA 5-B: Condensador resfriado a ar .....	34
FIGURA 5-C: Condensador resfriado a água.....	35
FIGURA 5-D: Condensador resfriado a água .....	35
FIGURA 6: Evaporador.....	36
FIGURA 7-A: Válvula de Expansão marca ELGIN.....	36
FIGURA 7-B: Esquema de uma Válvula de Expansão Termostática.....	36
FIGURA 8: Esquema do sistema de ar-condicionado com condensação a ar.....	37
FIGURA 9: Esquema do sistema de ar-condicionado com condensação a água.....	37
FIGURA 10: Fan Coil - catálogo YORK.....	38
FIGURA 11: ACJ – vista externa - catálogo YORK .....	39
FIGURA 12: ACJ – vista interna - catálogo CARRIER.....	40
FIGURA 13: Instalação residencial – sistema Minisplit.....	42
FIGURA 14: Minisplit do tipo piso-teto - catálogo CARRIER.....	43
FIGURA 15: Minisplit do tipo parede (hi-wall) – catálogo CARRIER.....	43
FIGURA 16: Minisplit do tipo cassete - catálogo CARRIER.....	44
FIGURA 17: Splitão – unidade interna - catálogo YORK.....	45
FIGURA 18: Self contained a ar (condensador incorporado) catálogo TRANE.....	46

FIGURA 19: Chillers com condensação a água e a ar.....	48
FIGURA 20: Sistema de circulação de água gelada no chiller.....	48
FIGURA 21: Torres de resfriamento, bombas e tubulação.....	50

## LISTA DE FÓRMULAS

FÓRMULA (1)

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}, \text{ onde:}$$

n: Rotações por minuto (rpm).

f: Frequência da rede (Hz)

p: Quantidade de pólos do motor.....49

FÓRMULA (2)

$$\dot{m} = \frac{q_w}{C_p \cdot \Delta t}, \text{ onde:}$$

$\dot{m}$ : Taxa de fluxo de massa de água em (L/h.TR).

$q_w$ : Calor recebido pela água no condensador (kcal/h).

$C_p$ : Calor específico da água ( 1 kcal/kg.°C).

$\Delta t$ : Diferença de temperatura entre a entrada e a saída da água de condensação (5,5 °C).....51

FÓRMULA (3)

$$V_{ef} = P_z \times F_p + A_z \times F_a, \text{ onde:}$$

$V_{ef}$ : Vazão eficaz de ar exterior (L/s).

$F_p$ : Vazão por pessoa (L/s.pessoa).

$F_a$ : Vazão por área útil ocupada (L/s.m<sup>2</sup>).

$P_z$ : Número máximo de pessoas na zona de ventilação.

$A_z$ : Área útil ocupada pelas pessoas (m<sup>2</sup>).....83

## LISTA DE LETRAS UTILIZADAS EM FÓRMULAS

$A_z$  – Área útil ocupada pelas pessoas ( $m^2$ )

$F_a$  – Vazão por área útil ocupada ( $L/s \cdot m^2$ )

$F_p$  – Vazão por pessoa, expressa em litros por segundo ( $L/s \cdot \text{pessoa}$ ).

$P_z$  – Número máximo de pessoas na zona de ventilação

$V_{ef}$  – Vazão eficaz de ar exterior, expressa em litros por segundo ( $L/s$ )

$n$  – Rotações por minuto (rpm).

$f$  – Frequência (Hz).

$p$  – Quantidade de pólos de um motor (adimensional).

$\dot{m}$  - Taxa de fluxo de massa de água ( $L/h \cdot TR$ ).

$Q_w$  - Calor recebido pela água no condensador (kcal/h).

$C_p$  - Calor específico da água ( kcal/kg.°C).

$\Delta t$  - Diferença de temperatura entre a entrada e a saída da água de condensação (°C)

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – Posição do mercado de ar-condicionado no Brasil .....	41
TABELA 2 – Proposta para nova classificação dos sistemas de ar-condicionado.....	93

## LISTA DE UNIDADES

Btu – British Thermal Unit.

psig – Pound force per square inch gauge (libras por polegada quadrada manométrica)

TR - Tonelada de Refrigeração.

°C – Grau Celsius.

h – Hora.

m – Metro.

L – Litro.

Hz – Hertz.

kcal – Quilocaloria.

kg - Quilograma.

s – Segundo.

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento.

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ACJ - Ar Condicionado de Janela

ANSI – American National Standards Institute, EUA

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

ASHRAE – American Society Of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BAC – Bomba de Água de Condensação

BAG – Bomba de Água Gelada

CB – Comitê Brasileiro.

CLF – Cooling Load Factor Method

CLTD – Cooling Load Temperature Difference

COS – Compostos Orgânicos Semivoláteis

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CRT – Cathodic Ray Tube

EPA – Environmental Protection Agency

IAQ – Indoor Air Quality (Qualidade do Ar Interior)

LCD – Liquid Cristal Display

MAK – Índice de exposição máximo recomendado para ambientes industriais, desenvolvido pela Deutsche Forschungs Gemeinschaft (Alemanha), uma instituição similar à U.S. National Institutes of Health e NIOSH.

NAAQS – National Ambient Air Quality Standards

NBR – Norma Brasileira Registrada

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health, EUA.

OSHA – Occupational Safety and Health Administration.

PM2.5 – Particulate Matter Smaller than 2.5 Micrometers (material particulado menor que 2,5 micrometros)

PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle

RE – Resolução

RTS – Radiant Time Series Method

SMACNA – Sheet Metal and Air Conditioning Contractors Association.

SWKI – Swiss Society of Building Technology-Engineers

TA – Time Averaging

TAB – Testes, Ajustes e Balanceamento

TDC – Transverse Flange Duct System

TETD – Total Equivalent Temperature Difference

TFM – Transfer Function Method

U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency

VRF – Variable Refrigerant Flow (Fluxo de Refrigerante Variável)

VRV – Volume de Refrigerante Variável.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1 Justificativa e relevância.....	24
1.2 Objetivos.....	25
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
2.1 Ciclo básico de refrigeração.....	27
2.2 Tipos de condensação.....	37
2.2.1 Condensação a ar.....	37
2.2.2 Condensação a água.....	37
2.3 Tipos de expansão.....	38
2.3.1 Expansão direta.....	38
2.3.2 Expansão indireta.....	38
2.4 Tipos de equipamentos de ar-condicionado.....	39
2.4.1 Aparelho de Ar Condicionado de Janela.....	39
2.4.2 Minisplit.....	40
2.4.2.1 <u>Minisplit do tipo piso-teto</u> .....	42
2.4.2.2 <u>Minisplit do tipo parede</u> .....	43
2.4.2.3 <u>Minisplit do tipo cassete</u> .....	43
2.4.3 Splitão.....	44
2.4.4 Self Contained.....	45
2.4.4.1 <u>Self Contained com condensador a ar incorporado</u> ..	46
2.4.4.2 <u>Self Contained com condensador a ar remoto</u> .....	47
2.4.4.3 <u>Self Contained com condensação a água</u> .....	47
2.4.5 Resfriador de Líquido (Chiller).....	47
2.4.6 Roof Top.....	49
2.4.7 VRV (Sistema com volume de refrigerante variável).....	49
2.4.8 Torre de resfriamento de água.....	50
2.5 Os sistemas de filtragem.....	51
2.6 Sistemas de tratamento e distribuição do ar.....	52
2.6.1 Casa de máquinas.....	52
2.6.1.1 <u>Dispositivo para captação de ar exterior</u> .....	52
2.6.1.2 <u>Dispositivo para captação do ar de retorno</u> .....	52
2.6.2 Rede de dutos.....	53
2.6.4 Colarinhos.....	53
2.6.5 Bocas de insuflação de ar (Grelhas e Difusores).....	54
2.7 Carga térmica.....	54
2.8 Norma ABNT NBR 6401/1980.....	54

2.9 Normas ANSI/ASHRAE Standard 62.1.....	55
2.9.1 Propósito da norma.....	57
2.9.2 Escopo da norma.....	57
2.9.3 Definições.....	58
2.9.4 Sistemas e equipamentos.....	58
2.9.5 Procedimentos.....	59
2.9.6 Construção e partida de sistemas.....	59
2.9.7 Operação e manutenção.....	59
2.9.8 Referências.....	60
2.9.9 Apêndices.....	60
2.10 Portaria 3523/98 do Ministério da Saúde (Regulamento Técnico para Procedimentos de Verificação Visual dos Procedimentos de Limpeza).....	61
2.11 Resolução ANVISA 009/2003 (Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo)...	62
2.11.1 Fungos.....	63
2.11.2 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	63
2.11.3 Aerodispersóides.....	63
2.11.4 Temperatura.....	63
2.11.5 Umidade.....	64
2.11.6 Taxa mínima de renovação do ar.....	64
2.11.7 Filtros.....	64
2.11.8 Velocidade do ar.....	64
2.11.9 Periodicidade de Manutenção.....	65
2.11.10 Possíveis Fontes de Poluentes Biológicos.....	65
2.11.11 Possíveis fontes de poluentes químicos.....	65
2.11.12 Estratégias de amostragem.....	65
2.11.13 Responsabilidade Técnica.....	66
2.12 Norma ABNT NBR 16.401/2008.....	66
2.12.1 Partes componentes.....	67
2.12.2 Parte Um – Projeto das instalações.....	67
2.12.3 Parte Dois – Parâmetros de conforto térmico.....	67
2.12.4 Parte Três – Qualidade do ar interior.....	68
3 METODOLOGIA.....	70
4 DISCUSSÃO E ANÁLISE CRÍTICA.....	71
4.1 Índices de renovação de ar exterior.....	72
4.2 Dados climatológicos de projeto.....	72
4.3 Diagramação e formatação final da norma.....	73
4.4 Referências a documentos substituídos.....	73
4.5 Falta de regulamentação dos equipamentos do tipo Minisplit.....	73

4.6 Nomenclatura dos equipamentos.....	74
4.6.1 <i>Splitão</i> .....	74
4.6.2 <i>Self Contained</i> .....	75
4.6.2.1 <u>Self Contained com condensador a ar incorporado</u> .....	75
4.6.2.2 <u>Self Contained com condensador a ar remoto</u> .....	75
4.6.3 <i>Resfriadores de líquido (chiller)</i> .....	75
4.6.4 <i>Roof Top</i> .....	76
4.6.5 <i>Central multi-split VRV (vazão de refrigerante variável)</i> .....	76
4.6.6 <i>Torre de resfriamento de água</i> .....	77
4.6.7 <i>Definição de Minisplit</i> .....	77
4.7 Os sistemas de filtragem.....	78
4.8 Sistemas de tratamento e distribuição do ar.....	79
4.8.1 <i>Casa de máquinas</i> .....	79
4.8.1.1 <u>Dispositivo para captação de ar exterior</u> .....	80
4.8.1.2 <u>Dispositivo de captação do ar de retorno</u> .....	80
4.8.2 <i>Rede de dutos</i> .....	80
4.9 Carga térmica.....	82
4.9.1 <i>Vazão de ar externo</i> .....	83
4.9.2 <i>Adequação às regulamentações existentes</i> .....	84
4.9.3 <i>Atendimento às normas de eficiência energética</i> .....	84
4.9.3.1 <u>Envoltória</u> .....	85
4.9.3.2 <u>Iluminação</u> .....	85
4.9.3.3 <u>Condicionamento de ar</u> .....	85
4.9.4 <i>Utilização de sistemas de controle e automação para regulagem de vazão</i> .....	86
4.9.5 <i>Utilização de programas de computador para cálculo da carga térmica</i> .....	86
4.9.6 <i>Fontes internas de calor e umidade (anexo C)</i> .....	87
4.10 Divisão em módulos, utilização de inversores de frequência e automação.....	88
4.11 Nível de ruído.....	89
4.12 Instalação elétrica.....	91
4.13 Testes, ajustes e balanceamento (TAB).....	91
4.14 Definição do tipo de retorno do ar.....	91
4.15 Definição de sistema de ar-condicionado central.....	92
4.16 Aspectos gerais e específicos.....	94
4.17 Aspectos específicos da parte um (projetos das instalações).....	94
4.17.1 <i>Procedimento de elaboração e documentação do projeto (item quatro)</i> .....	94
4.17.2 <i>Condições climáticas e termoigrométricas de projeto (item cinco)</i> .....	95

4.17.3 Critérios de projeto do sistema (item sete).....	95
4.17.4 Critérios de seleção-componentes principais e meios de difusão de ar (itens 8 e 9)..	95
4.17.5 Projeto de distribuição do ar (item dez).....	96
4.17.6 Linhas frigoríficas (item treze).....	96
4.17.7 Dados climáticos (anexo A).....	96
4.17.8 Bibliografia.....	96
4.18 Aspectos específicos da parte dois (Parâmetros de conforto térmico).....	97
4.18.1 Fatores que afetam o conforto térmico (item três).....	97
4.18.2 Avaliação das condições de conforto térmico (item quatro).....	97
4.18.3 Parâmetros de conforto (item cinco).....	97
4.18.4 Avaliação e controle (item seis).....	97
4.18.5 Bibliografia.....	98
4.19 Aspectos específicos da parte três (Qualidade do ar interior).....	98
4.19.1 Condições gerais (item quatro).....	98
4.19.2 Ventilação (item cinco).....	99
4.19.3 Filtragem (item seis).....	99
4.19.4 Unidades de tratamento de ar (item sete).....	100
4.19.5 Requisitos de manutenção relativos à qualidade do ar (item oito).....	100
4.19.6 Anexos A, B, C e D.....	101
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA UM PRÓXIMO</b>	
<b>TRABALHO.....</b>	<b>102</b>
5.1 Atualizações periódicas.....	102
5.2 Revisão ortográfica.....	103
5.3 Filtragem.....	103
5.4 Definição clara de seu objetivo.....	103
5.5 Definição de sistema de ar condicionado central.....	103
5.6 Definição de circuitos.....	104
5.7 Torres de resfriamento.....	104
5.8 Outras recomendações para revisão e aperfeiçoamento da norma.....	104
5.9 Sugestões para os próximos trabalhos.....	105
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil precisava de uma norma nacional acerca de projeto de sistemas de ar condicionado, parâmetros de conforto térmico e qualidade do ar interior, porque a última norma brasileira anterior a de 2008 que tratava desse assunto era a norma ABNT NBR-6401, de 1980, cujo título é “Instalações Centrais de Ar-condicionado – Parâmetros Básicos de Projeto”. E, nos últimos 31 anos que se seguiram desde que tal norma foi publicada, o segmento de refrigeração e ar-condicionado teve que se adaptar a uma verdadeira revolução que envolveu tanto os aspectos tecnológicos quanto os trabalhistas, de saúde e bem estar, de qualidade do ar interior e meio-ambiente.

Em termos tecnológicos, a partir de 1980 houve uma gradual substituição dos compressores alternativos por compressores do tipo scroll, parafuso e rotativos, a introdução maciça da eletrônica nos equipamentos, o que substituiu os comandos elétricos por placas eletrônicas e, atualmente, já se tem os sistemas dotados de inversores de frequência, que conferem velocidades variáveis aos compressores, bombas e ventiladores.

Por sua vez, o aumento das exigências das empresas em termos de SMS (Saúde, Medicina e Segurança no Trabalho), a preocupação com a ergonomia, o gradual aumento da potência dos equipamentos de informática utilizados nas estações de trabalho e nos sistemas de processamento de dados também exigiram que os sistemas de ar-condicionado e refrigeração respondessem à altura no sentido de climatizar os ambientes e as pessoas neles inseridas.

Já a qualidade do ar interior, aspecto praticamente inexistente em 1980, ganhou, desde 1998, com a edição da Portaria 3523 do Ministério da Saúde, uma conotação importante dentre as atividades que o profissional de climatização tem que exercer.

Mais recentemente, com os protocolos de Montreal e Kyoto, que tratam da proteção da camada de ozônio e da redução do aquecimento global, o profissional de ar-condicionado e refrigeração teve que agregar às suas atividades a necessidade de substituir os refrigerantes do tipo CFC e HCFC, visando reduzir os impactos de tais fluidos no meio ambiente.

Tudo isso demandava uma norma técnica mais moderna e mais adaptada aos novos tempos, e a norma ABNT NBR 16.401/2008, veio preencher essa lacuna que existia na legislação técnica brasileira.

A nova norma, em que há a necessidade de ser constantemente revisada dentro dos intervalos mínimos de cinco anos estabelecidos pela ABNT, contemplou quase todas as necessidades atuais da área de ar-condicionado em nosso país.

Contudo, como essa norma foi feita aproveitando em grande parte a experiência adquirida na formulação de várias normas internacionais, em especial as normas oriundas da ASHRAE, e considerando que tais normas vêm constantemente sendo atualizadas, alguns aspectos da norma brasileira já demandam atualizações.

Nessa perspectiva, o presente estudo visa apresentar e promover reflexões a respeito da norma ABNT NBR 16.401/2008, comparando-a com outras Normas, Resoluções e Portarias; identificar seus impactos em diversos aspectos, inclusive na manutenção; e no que se fizer necessário propor melhorias para sua próxima edição.

## **1.1 Justificativa e relevância**

Sabe-se que o conhecimento se dá por meio de diversas formas, desde as lições básicas dos primeiros anos do ensino fundamental, do ensino médio, do ensino superior até um constante processo de pesquisa; e que, após adquirir o conhecimento, as pessoas passam a utilizá-lo e a testá-lo no dia-a-dia, seja no trabalho, na academia ou em ambos.

O conhecimento, após ser descoberto, testado e dado como concluído sua utilização prática, é normatizado através de diferentes sistemas de normatização, de forma a assegurar que a sua aplicação se dê em estrita observância aos preceitos técnicos e no interesse da sociedade.

A norma técnica geralmente é um trabalho conduzido por uma associação nacional ou internacional de normas técnicas e realizado com a participação de uma equipe multidisciplinar composta por universidades, representantes do governo, produtores, consumidores, profissionais do ramo, conselhos de classe e outros.

As normas técnicas internacionais relativas às áreas de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado normalmente são oriundas da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.), sediada em Atlanta, USA.

No Brasil, as normas técnicas são elaboradas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e as normas relativas especificamente à área de ar-condicionado atualmente

são elaboradas no Comitê Brasileiro de Refrigeração (ABNT/CB-55), pela Comissão de Estudos de Instalações de Ar-condicionado.

Atualmente, a norma brasileira que regulamenta as atividades de ar-condicionado é a ABNT NBR 16.401/2008, partes 1 (Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Projetos das Instalações), 2 (Parâmetros de Conforto Térmico) e 3 (Qualidade do Ar Interior).

Assim, o presente trabalho se faz relevante e justificável na medida em que a norma que ora se faz *corpus* de reflexão e de análise crítica neste estudo, regulamenta os projetos, as instalações e os serviços de manutenção da qualidade do ar interior em todos os sistemas de ar-condicionado do Brasil, sendo, portanto, a legítima referência normativa brasileira nessa área do conhecimento.

No mais, ao se perceber uma série de oportunidades de melhorias que se fizeram revelar pelas reflexões comparativas da Norma Brasileira em análise, outras Normas, Resoluções e Portarias que discorrem sobre a mesma temática e as reflexões do autor neste estudo; acredita-se que, se tais sinalizações fomentadas forem apreciadas e implementadas, a presente análise poderá contribuir de forma significativa para que o país possa dotar-se de uma excelente Norma destinada à área de ar-condicionado, conforto térmico e qualidade do ar interior. O que, conseqüentemente, atenderá ainda melhor às exigências e às expectativas do mercado de refrigeração e ar-condicionado brasileiro.

## 1.2 Objetivos

Realizar uma análise crítica da norma, visando difundir o seu conhecimento e contribuir para a sua atualização e aperfeiçoamento.

Facilitar a compreensão da norma ABNT NBR 16.401/2008 aos estudantes, docentes, profissionais da área e demais interessados.

Comparar a norma ABNT NBR 16.401/2008 com a versão anterior, a ABNT NBR 6.401/1980, identificando e criticando as alterações.

Comparar e confrontar a ABNT NBR 16.401/2008 com outras normas brasileiras da área de ar-condicionado, identificando a existência de eventuais inconsistências ou confusões entre elas, em especial com relação à Portaria 3523 (1998) do Ministério da Saúde e a RE ANVISA 009 (2003).

Comparar a ABNT NBR 16.401/2008, principalmente a sua parte três (Qualidade do ar Interior), com outras normas internacionais, em especial com a norma ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2010).

Discutir e realizar uma análise crítica, científica e da norma brasileira ABNT NBR 16.401/2008 em função da legislação brasileira e das tendências mundiais, identificando defasagens com as atualizações de conhecimentos posteriores, em especial aquelas oriundas da ASHRAE, já que, depois dessa norma, já foram publicados três handbooks daquela associação.

Analisar essa norma à luz das mais recentes regulamentações relativas à eficiência energética, em especial a regulamentação brasileira de etiquetagem.

Identificar os impactos dessa norma nas atividades de instalação, manutenção e preservação da boa qualidade do ar interior.

Analisar os impactos e a aplicação dessa norma no mercado brasileiro de ar-condicionado após três anos de seu lançamento e, por fim, sugerir melhorias para a sua próxima edição.

Esta dissertação é composta por cinco capítulos. O primeiro faz a introdução, apresenta o ciclo de refrigeração e seus diversos tipos de aparelhos; o segundo trata da revisão bibliográfica, apresenta a Norma Brasileira ABNT NBR 16.401/2008 seguida de outras Normas, Resoluções e Portarias; o terceiro aborda a metodologia aplicada, em que foram feitas leituras e análises das normas brasileiras e internacionais sobre o assunto, assim como reuniões com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento, reuniões com a ABNT (CB-55), reuniões com profissionais da área, agregando-se a esse processo teórico-reflexivo a experiência profissional de dezenove anos do autor; o quarto promove discussão e análise crítica da Norma em estudo e a sua utilização prática; o quinto apresenta as considerações finais e as sugestões para novos trabalhos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de se iniciar a revisão da norma, se faz necessário promover a revisão dos conceitos básicos de ar-condicionado para que o leitor se familiarize com tais fundamentos e possa melhor compreender as análises que serão feitas por meio deste trabalho.

### 2.1 Ciclo básico de refrigeração

Conforme Creder (1990), o sistema de refrigeração por compressão de vapor é composto principalmente por quatro componentes: Compressor, Condensador, Dispositivo de Expansão e Evaporador como se explicita na figura 1 abaixo:

#### Legenda

Qa - Calor absorvido;

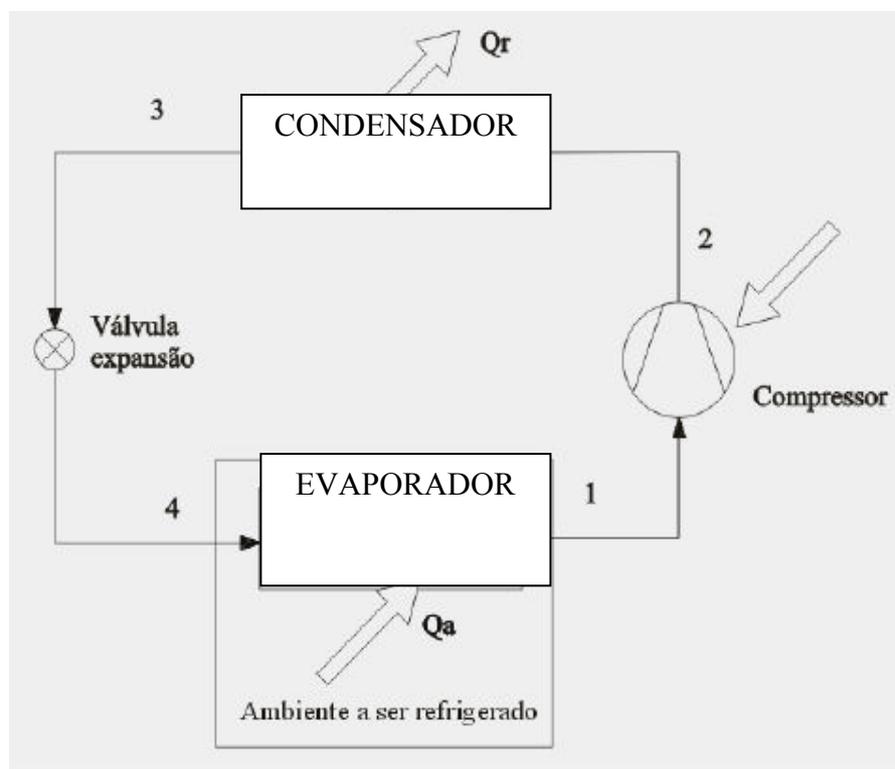
Qr - Calor rejeitado;

1 – Região de baixa pressão e fase gasosa;

2 – Região de alta pressão e fase gasosa;

3 – Região de alta pressão e fase líquida;

4 – Região de baixa pressão e fase líquido/vapor (flash gas).



**Figura 1: Ciclo Básico da refrigeração**  
Fonte: CREDER, 1990

O ambiente a ser condicionado, a uma temperatura média de 24 °C, transfere calor para o ar e este é forçado a passar pela serpentina do evaporador, composta de tubos de cobre (podendo ser também de alumínio, ferro galvanizado, etc., dependendo do fluido refrigerante) e aletas, frequentemente de alumínio (podendo ser também de cobre), que transferem calor para o fluido refrigerante que circula dentro do tubo.

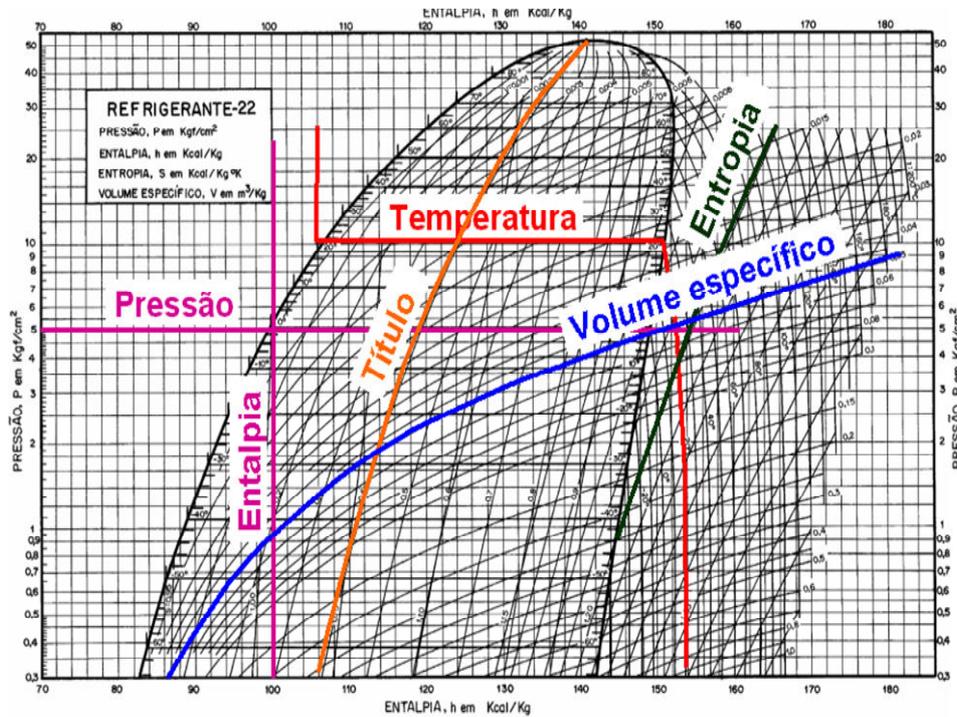


Figura 2: Diagrama Pressão x Entalpia do Freon-22  
Fonte: ASHRAE, 2009

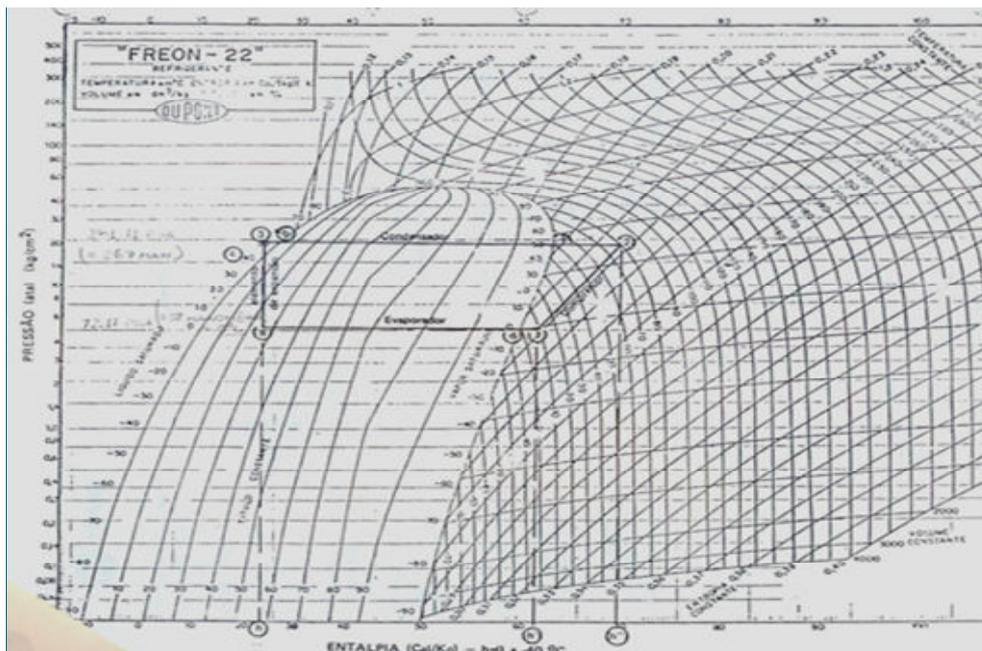


Figura 3: Ciclo teórico refrigeração por compressão de vapor  
Fonte: TRANE, 95

O fluido refrigerante entra no evaporador a uma temperatura de aproximadamente 0°C (em sistemas que utilizam o gás R-22), na região entre líquido saturado e vapor saturado do diagrama P<sub>x</sub>H (Figura 3), normalmente com um título na faixa de 0,20.

Em virtude desta troca de calor forçada, o refrigerante passa por uma transformação, saindo do estado saturado para o estado de vapor ligeiramente superaquecido (em torno de 8°C a 12 °C, no caso de compressor alternativo, sendo menor no caso de compressores do tipo scroll) e é aspirado para dentro do compressor. Esse fenômeno de passagem do estado saturado para o estado de vapor se denomina expansão, evaporação ou ebulição.

Dentro do compressor, o refrigerante é submetido a uma compressão, aumentando sua pressão manométrica para aproximadamente 280 psig (sistema com condensação a ar e refrigerante R-22) e sua temperatura para aproximadamente 80 °C.

Após sair do compressor, esse refrigerante chega ao condensador, onde ele passa novamente por uma transformação física, saindo do estado de vapor superaquecido para vapor saturado, depois líquido saturado e, posteriormente, líquido subresfriado. A esse fenômeno de passagem do estado de vapor para líquido denominamos condensação.

No condensador com condensação a ar, essa perda de calor se faz porque um ventilador provoca a passagem do ar externo a uma temperatura inferior à temperatura do fluido refrigerante (aproximadamente 35°C dependendo da região e da estação do ano) e este ar troca calor com o fluido refrigerante. Toda energia recebida pelo fluido refrigerante na forma de calor (que entra no evaporador) e trabalho (do compressor) ao longo do ciclo de refrigeração é dissipada na forma de calor, que é descarregado na atmosfera.

Quando a condensação é a água, o processo é similar, porém, nesse caso, o calor recebido pelo fluido refrigerante é transferido para a água de condensação e, posteriormente, na torre de resfriamento, é descarregado na atmosfera.

Para que o refrigerante retorne ao evaporador a uma temperatura na faixa de 0°C, de modo que possa novamente se constituir em um eficiente receptor de calor, ele passa por um dispositivo de expansão, normalmente válvula de expansão termostática (isoentálpica), em que ele é submetido a uma grande perda de pressão que resulta em perda também de temperatura. A pressão manométrica do refrigerante na saída da válvula de expansão é de aproximadamente 60 psig e a temperatura situa-se na faixa de 0 °C.

Este refrigerante é direcionado para a entrada do evaporador onde o ciclo de refrigeração é reiniciado. Neste ciclo de refrigeração existem três principais linhas de refrigerante. Linha de descarga, que vai do compressor ao condensador, que se caracteriza por levar o refrigerante na forma gasosa a alta pressão e alta temperatura (280 psig e 80°C). Linha

de líquido, que vai do condensador à válvula de expansão, onde o fluido refrigerante está a uma temperatura em torno de 45°C e pressão por volta de 280 psig. Linha de sucção, ou de baixa pressão, que vai da saída do evaporador até a entrada do compressor (Pressão de 60 psig e temperatura de 12°C aproximadamente, para o R-22).

Para se ter uma melhor concretização desse ciclo de refrigeração segue uma sequência fotográfica de modelos das peças que fazem parte desse processo:



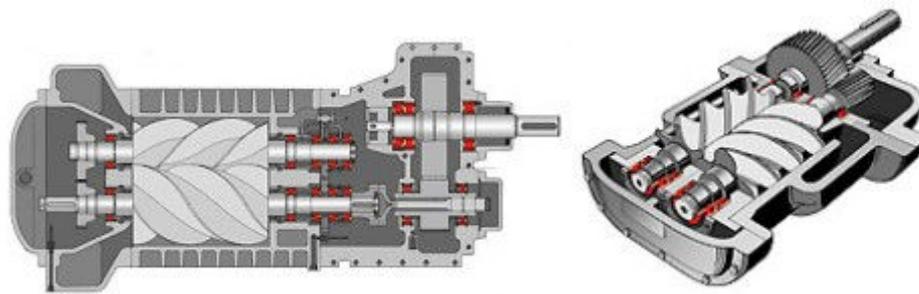
**FIGURA 4-A: Compressor hermético do tipo Scroll marca ELGIN. Disponível em: <  
<http://www.elgin.com.br/portalelgin/Site/Produto/Detalhe/ProdutoDetalhe.aspx?idprod=184&sm=p102> >  
Acesso em: 07/10/2011.**



**Figura 4-B: Compressor Hermético do tipo alternativo. Disponível em: <  
[http://www.refrigeracao.net/Topicos/compressores\\_2.htm](http://www.refrigeracao.net/Topicos/compressores_2.htm) > Acesso em: 07/10/2011.**



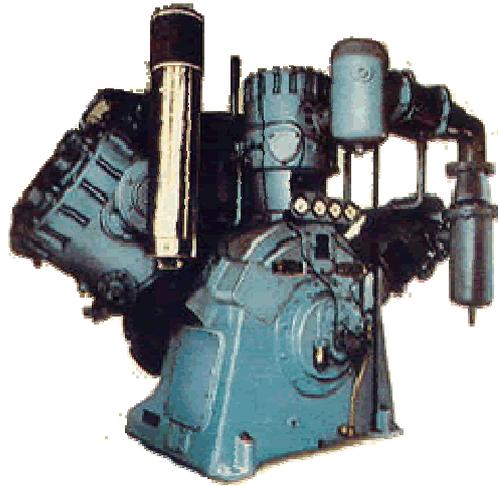
**Figura 4-C: Compressor Hermético do tipo Rotativo marca ELGIN. Disponível em: <  
<http://www.elgin.com.br/portalelgin/Site/Produto/Detalhe/ProdutoDetalhe.aspx?idprod=185&sm=p103> >  
 Acesso em: 07/10/2011.**



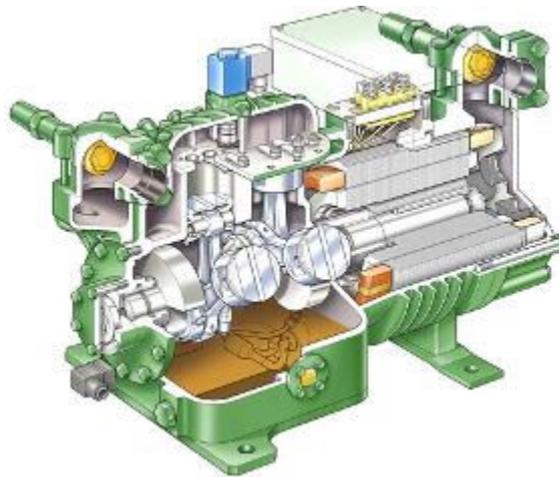
**Figura 4-D: Compressor Semi-hermético do tipo Parafuso. Disponível em: <  
[http://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/branches/industry/pneumatics\\_1/applpneumatics/compressors/screwtypecompressors\\_1/screw\\_type\\_compressors.jsp](http://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/branches/industry/pneumatics_1/applpneumatics/compressors/screwtypecompressors_1/screw_type_compressors.jsp) > Acesso em: 07/10/11.**



**Figura 4-E: Compressor Semi-hermético do tipo Alternativo Aberto. Disponível em: <  
[http://www.refrigeracao.net/Topicos/compressores\\_2.htm](http://www.refrigeracao.net/Topicos/compressores_2.htm) > Acesso em: 07/10/2011.**



**Figura 4-F: Compressor Alternativo Semi-Hermético. Disponível em: <  
<http://www.copeso.com.br/imagem/compressores/cp2.gif> > Acesso em: 07/10/2011**



**Figura 4-G: Compressor Alternativo Semi-Hermético. Disponível <  
<http://www.nmrefrigeracao.com.br/images/compressor.jpg> > Acesso em: 10/10/2011.**



**Figura 4-H: Compressor Alternativo Semi-Hermético. Disponível em:<  
[http://btob.com.br/mediac/400\\_0/media/SRC-F.JPG](http://btob.com.br/mediac/400_0/media/SRC-F.JPG) > Acesso em: 10/10/2011.**

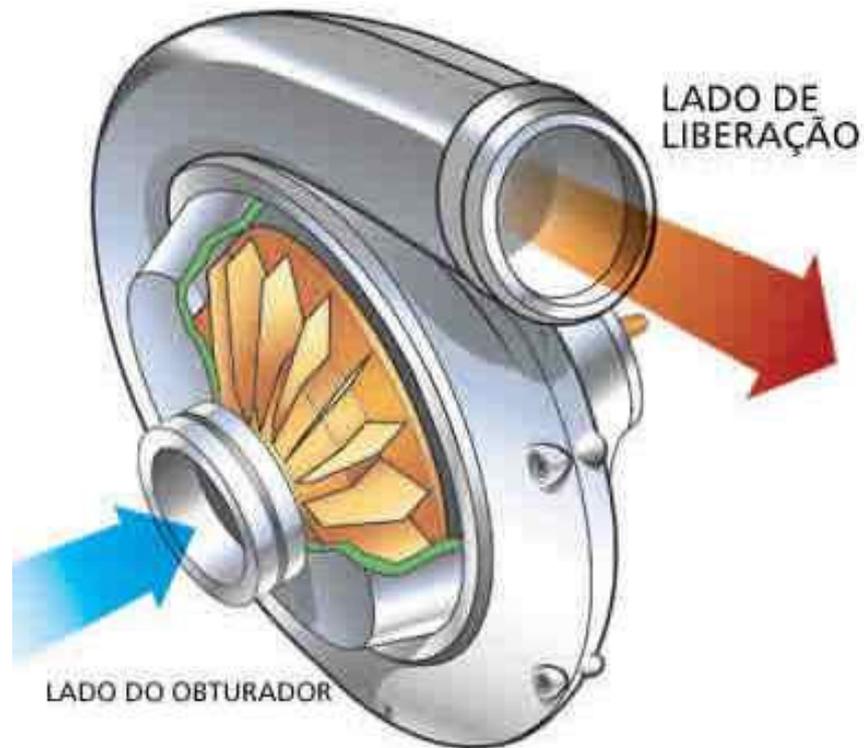


Figura 4-I: Compressor Centrífugo. Disponível em: < <http://static.hsw.com.br/gif/super-charger-12.jpg> >. Acesso em 10/10/2011.

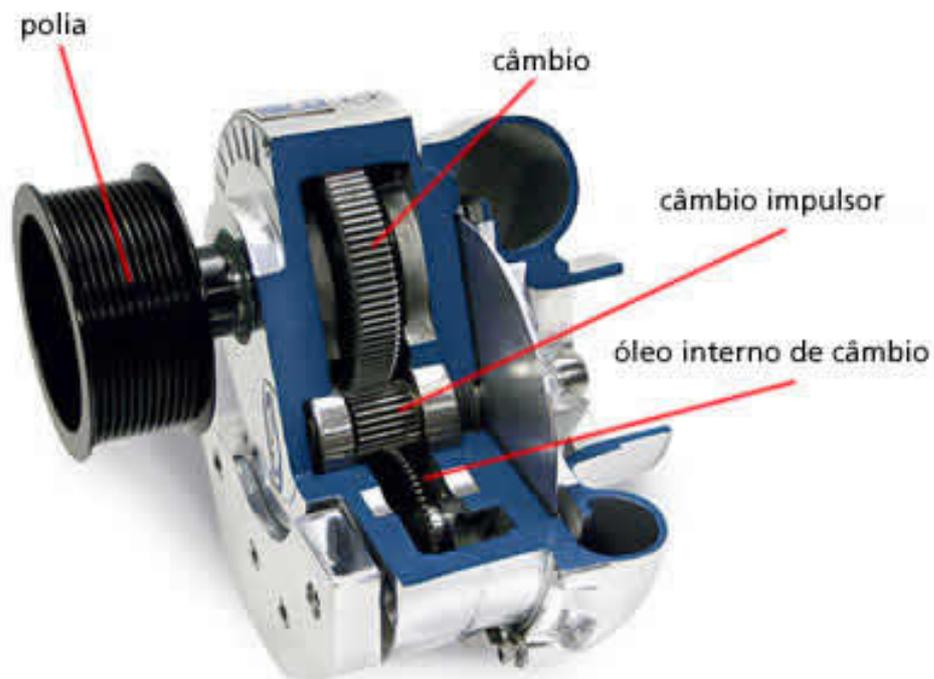


Figura 4-J: Compressor Centrífugo. Disponível em: < [http://3.bp.blogspot.com/\\_JBNJzBK47OU/TJJvb2qv0HI/AAAAAAAAAYg/kGehPUP3UNI/s1600/compressor+centrifugo.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_JBNJzBK47OU/TJJvb2qv0HI/AAAAAAAAAYg/kGehPUP3UNI/s1600/compressor+centrifugo.jpg) >. Acesso em 10/10/2011.



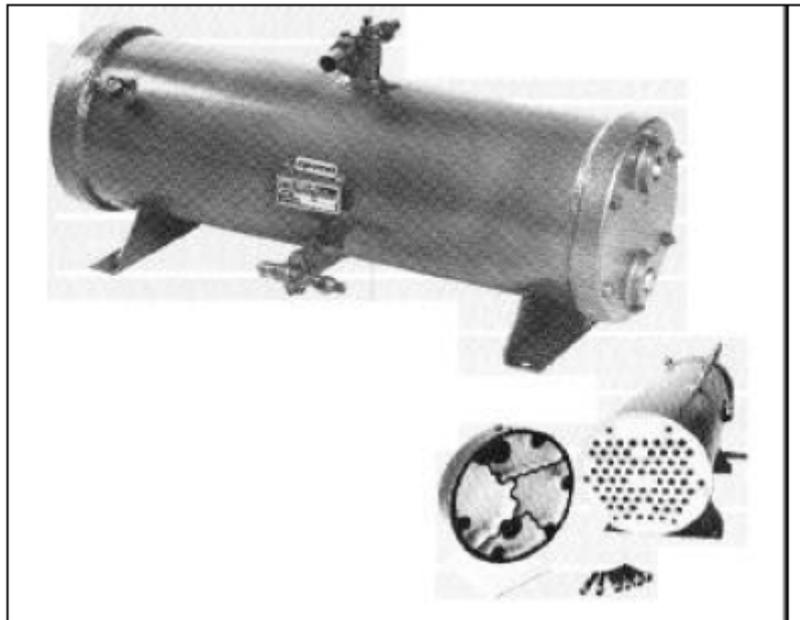
**Figura 5-A: Condensador resfriado a ar. Disponível em: <  
<http://www.logismarket.ind.br/refrio/condensador-remoto-a-ar/1538604257-1529558746-p.html> > Acesso  
em: 07/10/2011.**



**Figura 5-B: Condensador resfriado a ar. Disponível em: <  
<http://www.logismarket.ind.br/refrio/condensador-remoto-a-ar/1538673212-1529558746-p.html> > Acesso  
em: 07/10/2011.**



**Figura 5-C: Condensador resfriado a água. Disponível em: <[http://www.refrigeracao.net/Topicos/condensador\\_2.htm](http://www.refrigeracao.net/Topicos/condensador_2.htm)> Acesso em: 07/10/2011.**



**Figura 5-D: Condensador resfriado a água. Disponível em: <[http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/bb/RAC\\_II.pdf](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/b/bb/RAC_II.pdf)> Acesso em: 07/10/2011.**

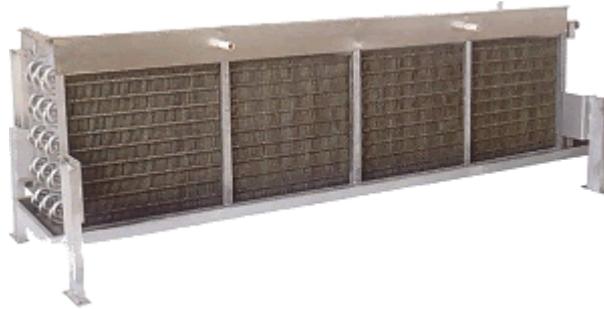


Figura 6: Evaporador. Disponível em: < [http://www.refrigeracao.net/Topicos/evaporador\\_1.htm](http://www.refrigeracao.net/Topicos/evaporador_1.htm) > Acesso em: 07/10/2011.



Figura 7-A: Válvula de Expansão marca ELGIN. Fonte: < <http://www.elgin.com.br/portalelgin/Site/Produto/Detalhe/ProdutoDetalhe.aspx?idprod=490&sm=p229> > Acesso em: 07/10/2011.

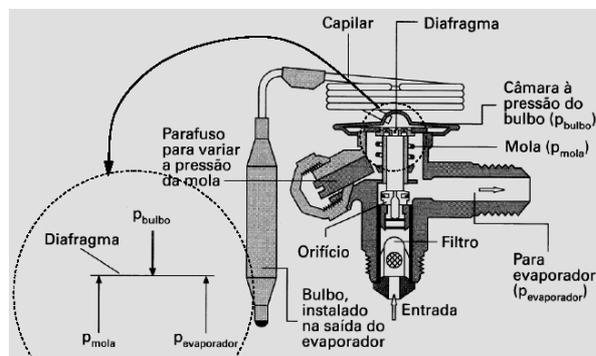


Figura 7-B: Esquema de uma Válvula de Expansão Termostática (UFMG)

## 2.2 Tipos de condensação

### 2.2.1 Condensação a ar

Quando a retirada do calor do fluido refrigerante no condensador é feita diretamente pelo ar externo que é forçado a circular pelas aletas e serpentinas do condensador por meio de um ventilador.

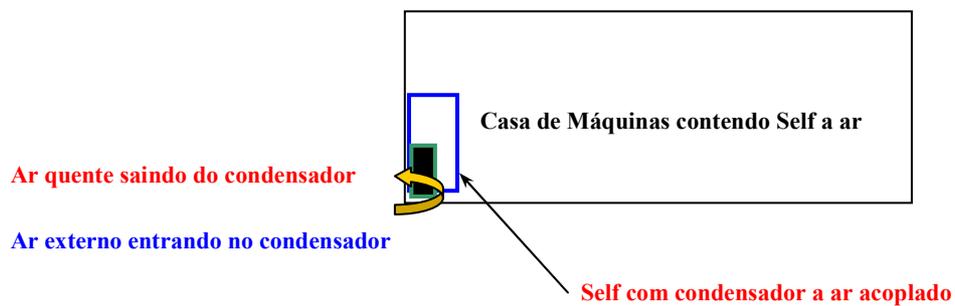


Figura 8: Esquema do sistema de ar condicionado com condensação a ar  
Fonte: ALFREDO, 2007

### 2.2.2 Condensação a água

Quando a retirada do calor do fluido refrigerante no condensador é feita pela água. Nesses casos, essa água recebe o calor do fluido refrigerante no condensador, de onde é transportada através de bomba de água de condensação (BAC) para uma torre de resfriamento e somente na torre essa água, em contato com o ar, rejeita, para a atmosfera, o calor que recebeu do fluido refrigerante no condensador.

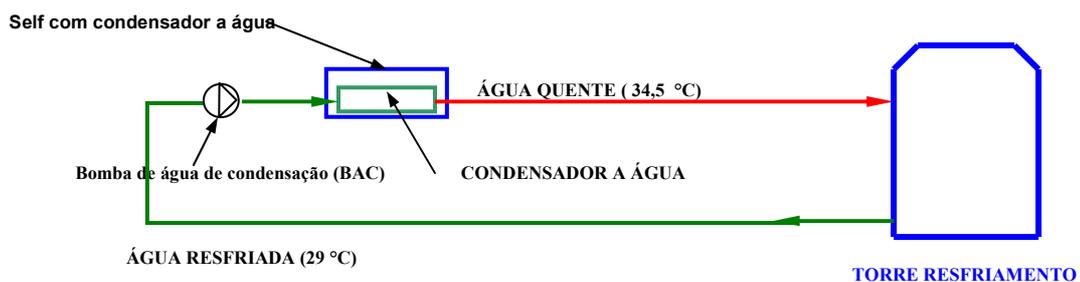


Figura 9: Esquema do sistema de ar condicionado com condensação a água  
Fonte: ALFREDO, 2007

## 2.3 Tipos de expansão

### 2.3.1 Expansão direta

É aquela em que o fluido refrigerante expande no evaporador em contato direto com o ar do ambiente, sem que seja necessário qualquer outro fluido intermediário. A norma ABNT NBR 6401/80 utilizava o termo “evaporação direta” e a definia como aquela em que “o refrigerante entra em ebulição no próprio trocador de calor, o qual se encontra diretamente em contato com o ar a ser tratado”.

### 2.3.2 Expansão indireta

É aquela em que o fluido refrigerante não entra em contato direto com o evaporador/forçador do ambiente condicionado, mas sim com um meio intermediário (fluido secundário), normalmente a água. A água gelada que é produzida no evaporador (Cooler) do resfriador de líquido (Chiller) é levada, por meio de bomba de água gelada (BAG), para outro gabinete, denominado “Fan Coil”, e somente neste gabinete essa água gelada é colocada em contato direto com o evaporador/forçador de ar do ambiente a ser tratado.

A norma ABNT NBR 6401/80 utilizava o termo “evaporação indireta” e o definia como aquela em que “existe um elemento intermediário, como a água ou salmoura, abastecida por uma central produtora de frio, alimentando os vários condicionadores de ar”.

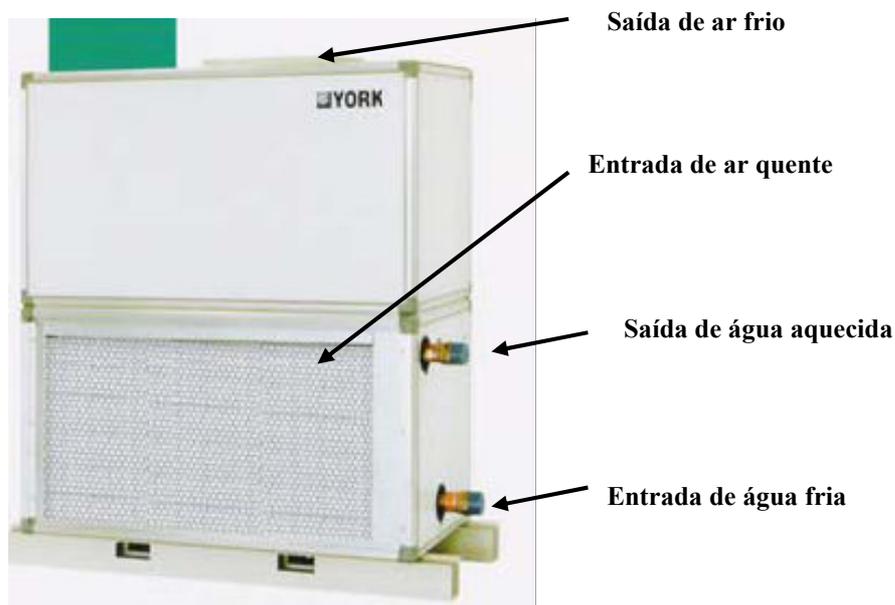


Figura 10: Fan Coil - catálogo YORK  
Fonte: ALFREDO, 1999

## 2.4 Tipos de equipamentos de ar condicionado

### 2.4.1 *Aparelho de Ar Condicionado de Janela*

Também chamados, no Brasil, de ACJs, estes aparelhos possuem pequenas capacidades, na faixa de 0,75 TRs (9000 Btu/h) a 2,5 TRs (30.000 Btu/h), são os mais simples e os primeiros a serem utilizados em condicionamento de ar residencial e comercial.

Integram, em um único gabinete, todas as funções do ciclo de refrigeração, mas apresentam limitações quanto às possibilidades de instalação (demandam a existência de ambiente externo ventilado no lado posterior do aparelho para que seja efetuada a condensação); *design* pouco atraente, incapaz de receber rede de dutos, baixo nível de filtragem, dispositivo de expansão por meio de tubo capilar, condensação exclusivamente a ar e elevado nível de ruído.

Como vantagens, podemos citar a robustez, a fácil instalação e a longa vida útil.



**Figura 11: ACJ vista externa- Catálogo YORK  
Fonte: ALFREDO, 1999**

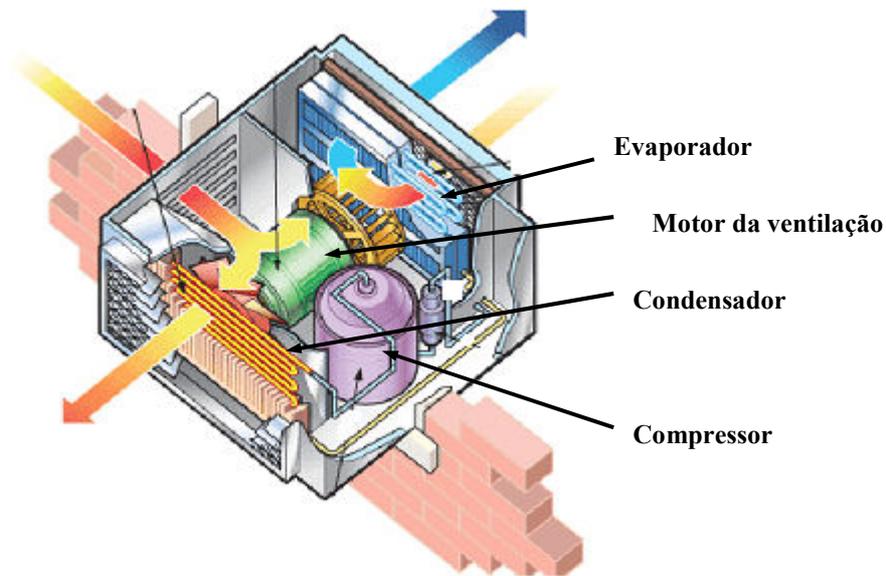


Figura 12: ACJ vista interna - catálogo CARRIER  
Fonte: ALFREDO, 1999

#### 2.4.2 *Minisplit*

A palavra “split”, de origem inglesa, significa “quebrar em várias partes”, “abrir ao meio”, “dividir”. É justamente isto que foi feito com o ciclo de refrigeração para a fabricação dos aparelhos denominados Minisplits, pois, do lado interno, no ambiente a ser condicionado, instala-se uma parte composta pelo evaporador e dispositivo de expansão (válvula de expansão termostática, tubo capilar, orifício de expansão e outros), denominada unidade evaporadora; e, do lado externo, onde há disponibilidade de ar para efetuar a condensação, instala-se a outra parte, composta do compressor e condensador, denominada unidade condensadora. Em alguns casos, o dispositivo de expansão também fica do lado externo.

Com essa configuração, as linhas de sucção e de líquido têm que ser longas, podendo chegar a distâncias de aproximadamente 15 metros, permitindo maiores possibilidades de instalação e também afastando dos usuários os ruídos excessivos causados por dois motores, o do ventilador do condensador e o do compressor.

Atualmente, esses equipamentos representam, isoladamente, mais de 70% de todos os aparelhos que são vendidos no mundo. Segundo a tabela do colunista Sidney de Oliveira, da Revista Climatização, em 02/08/2011, no Brasil, os Minisplits representam 82% da

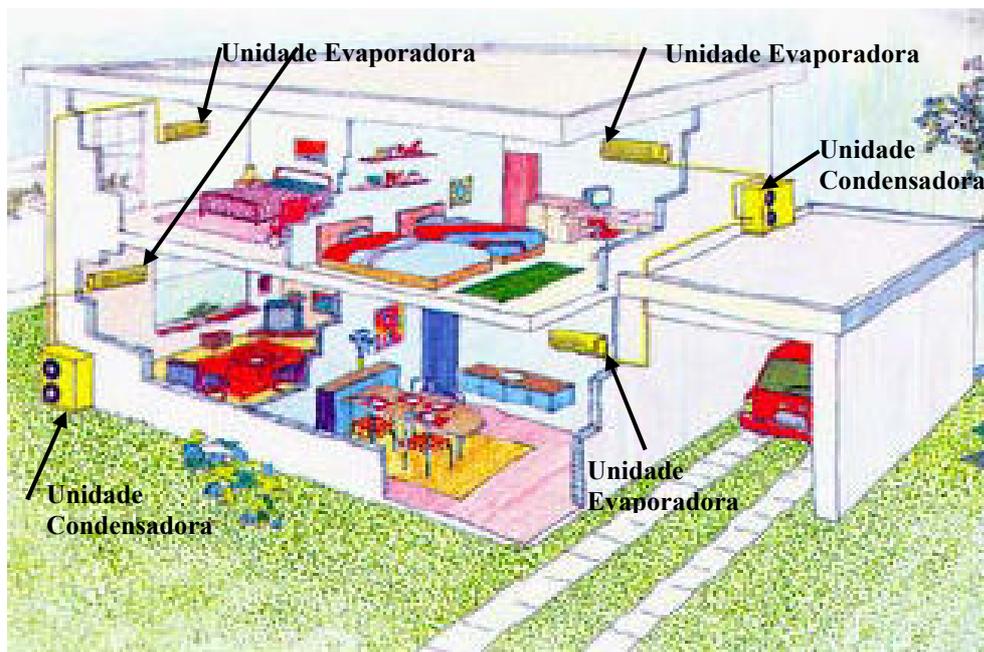
quantidade de equipamentos que são vendidos mensalmente e 68% de tudo que se gasta no país com instalações de ar condicionado. Conforme tabela abaixo:

TABELA 1  
Posição do mercado de ar condicionado no Brasil em agosto/2011

POSIÇÃO DO MERCADO DE AR CONDICIONADO NO BRASIL EM AGOSTO/2011					
EQUIPAMENTO	Percentual em Toneladas de Refrigeração (TR) vendidas por mês	Quantidade de TRs vendidas por mês	Custo médio do equipamento instalado em R\$/TR	Preço total em Milhões de Reais	Percentual em relação ao valor total
SPLIT	82,00%	170.000	R\$ 2.500	R\$ 425,00	68,28%
SPLITÃO	6,50%	13.500	R\$ 4.000	R\$ 54,00	8,68%
SELS	1,00%	2.300	R\$ 4.000	R\$ 9,20	1,48%
V R V	2,00%	3.500	R\$ 8.000	R\$ 28,00	4,50%
CHILLER	7,50%	17.700	R\$ 6.000	R\$ 106,20	17,06%
TOTAIS		207.000		R\$ 622,40	100,00%

Fonte: OLIVEIRA, ago. 2011

As vantagens destes aparelhos são os baixos níveis de ruído, a possibilidade de controle remoto com múltiplas funções, a possibilidade de se condicionar o ambiente mesmo não havendo disponibilidade de captação de ar externo no ambiente contíguo e o design, que combina cada vez mais com qualquer tipo de ambiente.



**Figura 13: Instalação residencial – Sistema Minisplit**  
**Fonte: ALFREDO, 2007**

As desvantagens são que a grande maioria não possui renovação de ar externo, tem uma limitação de distância entre as unidades interna e externa, baixo nível de filtragem do ar, geralmente G0, conforme RESOLUÇÃO ANVISA 009 (2003), insuficiência de pressão estática disponível no ventilador para instalar redes de dutos; e, se sujeitos a uma instalação por mão-de-obra desqualificada, estão condenados a uma vida útil muito curta.

Os Minisplits são divididos em três tipos principais: piso-teto, *hi-wall* e cassette.

#### **2.4.2.1 Minisplit do tipo piso-teto**

São aparelhos cuja unidade evaporadora é instalada na posição horizontal, sob o teto (“*under ceiling*”), com o fluxo de ar de insuflação sendo direcionado paralelamente ao teto e o retorno do ar acontecendo pela parte inferior do aparelho. Podem também ser instalados no piso, na posição vertical, com o fluxo de ar sendo direcionado para cima, paralelamente à parede. Normalmente têm um razoável alcance e apresentam capacidades entre 18.000 Btu/h e 84.000 Btu/h.



**Figura 14 - Minisplit do tipo piso-teto – catálogo CARRIER**  
**Fonte: ALFREDO, 1999**

#### **2.4.2.2 Minisplit do tipo parede**

Também chamados de “*Hi-Wall*”, são aparelhos em que a unidade evaporadora é instalada na posição vertical, a uma altura de aproximadamente três metros, com descarga do ar na parte inferior e retorno pela parte superior. Apresentam baixíssimos níveis de ruído e são mais utilizados em hotéis, residências e locais que não demandam grande capacidade. São fabricados principalmente nas capacidades de 7.000, 9.000, 12.000 e 18.000 Btu/h.



**Figura 15 – Minisplit do tipo parede (hi-wall) - catálogo CARRIER**  
**Fonte: ALFREDO, 1999**

#### **2.4.2.3 Minisplit do Tipo cassette**

São aparelhos cujas unidades evaporadoras são instaladas nas áreas centrais dos pavimentos, longe das paredes e, por isso, possuem descarga do ar em várias direções. Ocupam lugares onde normalmente seriam instalados difusores de sistemas dotados de redes de dutos ou luminárias de instalações de iluminação, são alinhados com forros de gesso ou outros tipos de forros. Têm um design muito atraente, mas oferecem péssimas condições de acesso para manutenção. Esses aparelhos possuem também uma bomba para dreno da água condensada que, quando falha, causa sérios problemas aos usuários devido à inundação que provoca.



**Figura 16 - Minisplit do tipo cassete - catálogo CARRIER**  
**Fonte: ALFREDO, 1999**

### ***2.4.3 Splitão***

Descrito no capítulo 38 do ASHRAE HANDBOOK – HVAC *Systems and Equipment* (2008) como “*Split-System Air-Cooled Condensing Unit*”, é um equipamento dividido em duas partes, sendo a parte interna (unidade evaporadora) dotada de serpentina e ventilador. Os ventiladores geralmente são do tipo sirocco (pás voltadas para frente) e possuem pressões estáticas superiores a 25 mmca (0,0356 psi). A unidade externa (unidade condensadora) é composta de serpentina, ventilador e compressor.

Na primeira parte da norma ABNT NBR 16.401/2008, este equipamento é designado por “condicionador autônomo compacto (Self Contained)”.

Conforme catálogo recente da HITACHI (2011), este fabricante já dispõe do “Splitão Inverter” desde o modelo RAP075DIV, na potência de refrigeração de 7,5 TRs (90.000 Btu/h) até o modelo RAP150DIV, com potência de 150 TRs (1.800.000 Btu/h) apresentados na FEBRAVA/2011. Os demais fabricantes também oferecem equipamentos dentro desta mesma faixa de capacidade.

Os Splitões podem fazer parte de um sistema completo de ar condicionado, pois promovem uma adequada filtragem do ar, captam ar externo para renovação, podem ser dotados de rede de dutos, difusores e/ou grelhas de insuflação e atendem a grandes ambientes (acima de 100 m<sup>2</sup>) e várias zonas térmicas.



**Figura 17: Splitão – unidade interna - catálogo YORK**  
**Fonte: ALFREDO, 1999**

Dentre os condicionadores autônomos compactos, é o mais barato, por possuir alíquota de IPI diferenciada, além de ter a vantagem, no que diz respeito ao nível de ruído, de transferir para o lado externo os componentes com nível de ruído mais elevado (compressor e ventilador do condensador).

O nível de ruído da unidade interna dos Splitões, além de ser menor do que naqueles equipamentos que possuem o compressor no gabinete interno, pode ser ainda mais atenuado fazendo-se o correto isolamento acústico da casa de máquinas e colocando-se atenuadores de vibração sob os equipamentos. Na rede de dutos, pode-se instalar lona flexível na junção do equipamento com o duto, borracha elastomérica na parte interna do duto de descarga principal e fazer o dimensionamento correto do duto para proporcionar velocidades do ar adequadas.

#### **2.4.4 Self Contained**

Os Self Containeds, conforme é de entendimento geral no mercado, são aparelhos que contêm, dentro de um mesmo gabinete, todo o ciclo de refrigeração, ou seja, compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador, assim como os ACJs.

Estes aparelhos diferenciam-se dos ACJs na faixa de capacidade, que varia de 5 TRs a 40 TRs (Catálogo de Instalação, Operação e Manutenção de Self Contained, TRANE 2001), na capacidade do ventilador, que possui pressão estática a partir de 25 mmca, suficiente para insuflar o ar em redes de dutos, dispositivo de expansão por meio de válvula de expansão

termostática ao invés de tubo capilar, condensação a água ou a ar, capacidade para proporcionar níveis de filtragem até F5, dentre outras características de um equipamento de médio porte.

Os aparelhos podem vir com condensação a água ou a ar, podem ter o condensador acoplado diretamente ao gabinete, na parte posterior, mas podem também ter o condensador à distância, conforme relacionado a seguir.

#### **2.4.4.1 Self contained com condensador a ar incorporado**

Conforme a própria tradução sugere, são aparelhos independentes, auto-suficientes, que congregam em seu gabinete todo o ciclo de refrigeração. Podem receber filtros de grande capacidade, são instalados em casas de máquinas e podem servir a uma rede de dutos. Os selfs com condensador incorporado, por possuírem todos os componentes em seu gabinete, inclusive o compressor, podem apresentar elevado nível de ruído e demandam a necessidade de contato de sua parte posterior com o ambiente externo para que seja feito o processo de condensação.



**Figura 18: Self Contained com condensação a ar e condensador incorporado - catálogo TRANE  
Fonte: ALFREDO, 1995.**

#### **2.4.4.2 Self contained com condensador a ar remoto**

Quando, por limitações arquitetônicas, não é possível captar o ar externo para promover o processo de condensação do gás na parte posterior do Self Contained com condensador a ar incorporado, torna-se necessário adotar-se o Self Contained com condensador remoto. Esse equipamento possui a unidade interna composta por evaporador, válvula de expansão e compressor, mas o condensador situa-se do lado externo da edificação, em outro gabinete, ligado à unidade interna por meio de tubos de cobre.

#### **2.4.4.3 Self Contained com condensação a água**

Apresentam condensador incorporado, dispensam o contato de sua parte traseira com o ambiente externo e, para funcionar, demandam a existência de um conjunto formado por outras partes, como bombas de água de condensação, tubulações para condução da água de condensação, registros e torres para resfriamento da água de condensação. São utilizados onde todas as alternativas de engenharia já foram tentadas e descartadas, pois exigem uma rigorosa manutenção, além de apresentarem elevando consumo de água e custos adicionais com o seu tratamento químico. São, normalmente, os condicionadores unitários mais vulneráveis às falhas.

#### ***2.4.5 Resfriador de Líquido (Chiller)***

É um equipamento de expansão indireta que, portanto, ao invés de produzir ar frio, produz água gelada. Esta água é bombeada para os “Fan Coils”, situados em vários pavimentos ou zonas térmicas diferentes e, nestes aparelhos, é submetida a uma troca de calor com o ar do ambiente, resultando em aquecimento da água (normalmente de 7 para 12°C) e redução da temperatura do ar (normalmente de 24°C para 12°C).

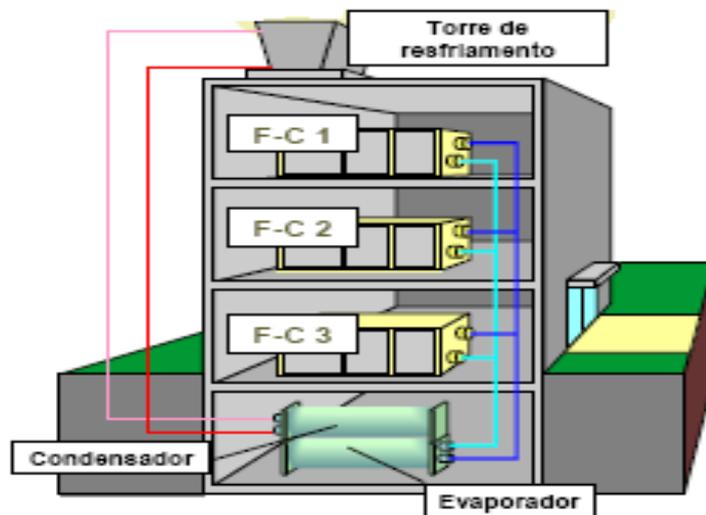
Para capacidades inferiores a 400 TRs, esses equipamentos podem ser fabricados com compressores do tipo Alternativo, Scroll e Parafuso. Ultimamente, a maioria dos Chillers está

sendo fabricada com compressores do tipo Scroll, com um ou mais compressores por circuito, ou do tipo Parafuso, normalmente com um compressor por circuito.

Já no caso de capacidades acima de 400 TRs, geralmente em sistemas de grandes empresas e shopping centers, são utilizados Chillers com compressores do tipo Centrífugo, e esses Chillers são mais conhecidos no mercado como Centrífugas.



**Figura 19:** À esquerda Chiller condensação a água. À dir. Chiller com condensação a ar  
**Fonte:** Agência da Caixa Econômica Federal em Belo Horizonte, 2007



**Figura 20:** Sistema de circulação de água gelada do Chiller  
**Fonte:** ALFREDO, 2007

Conforme acontece nos *Selfs*, os *Chillers* podem ser dotados de condensadores para condensação a ar ou a água.

Os *Chillers* com compressores do tipo Parafuso normalmente apresentam custos mais altos do que os *Chillers* com compressores do tipo *Scroll* e, dentre todos os tipos, aqueles dotados de compressores Centrífugos são os mais caros.

#### **2.4.6 *Roof Top***

Este aparelho é muito semelhante ao *Self Contained*, com um diferencial em relação ao local de sua instalação, que normalmente é feita na cobertura, sem casas de máquinas e na posição horizontal.

Alguns *Roof Tops* são divididos e, nesses casos, são chamados de *Roof Top Splits*.

#### **2.4.7 *VRV (Sistema com volume de refrigerante variável)***

Mais comumente conhecidos no mercado como VRF (Variable Refrigerant Flow ou fluxo de refrigerante variável), são constituídos de uma unidade condensadora composta por um ou vários compressores em que todos ou parte deles possui um dispositivo eletrônico (inversor de frequência) que possibilita a variação da frequência de alimentação elétrica do motor do compressor do equipamento.

Conforme a fórmula (1), a rotação de um motor elétrico é proporcional à frequência da rede e, portanto, quando variamos a frequência podemos variar a rotação do motor do compressor e, conseqüentemente, variar a vazão de fluido refrigerante.

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ (Fórmula 1)}$$

n: Rotações por minuto (rpm)

f: Frequência de rede (Hz)

p: Quantidade de pólos do Motor

No caso do VRF, essa possibilidade torna-se imprescindível porque a unidade condensadora serve a dezenas de unidades evaporadoras que, ora podem estar ligadas e ora

podem estar desligadas, demandando uma variação significativa no fluxo de refrigerante oriundo dos compressores.

#### 2.4.8 Torre de resfriamento de água

Equipamento utilizado para fazer o resfriamento da água aquecida pelo fluido refrigerante no processo de condensação em equipamentos que utilizam condensação a água como, por exemplo, *Self Contained* com condensação a água, *Chiller* com condensação a água e outros.

Em sistemas de ar condicionado, a água oriunda dos condensadores chega à Torre de Resfriamento por meio de um conjunto usualmente composto por bomba de água de condensação (BAC) e tubos de aço.



**Figura 21:** À esquerda, Torre de Resfriamento. À direita, Bombas de água e Tubulação  
Fonte: ALFREDO, 2007

A água chega à torre de resfriamento a uma temperatura de aproximadamente  $34,5^{\circ}\text{C}$  e, após trocar calor com o ar externo e dissipar o calor oriundo do evaporador e do compressor, retorna ao condensador com uma temperatura na faixa de  $29^{\circ}\text{C}$ .

Conforme Leiria (2004), as perdas de água nas torres de resfriamento se dão por arraste e evaporação e representam 1% da vazão de água.

Como a vazão de água de resfriamento em sistemas de ar condicionado com esse tipo de condensação é dada pela Fórmula (2):

$$\dot{m} = \frac{q_w}{c_p \cdot \Delta t}, \text{ onde:}$$

$$\dot{m} = \frac{3.780 \text{ kcal/h.TR}}{1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 5,5^\circ\text{C}}$$

$$\dot{m} = 687,27 \text{ kg/h.TR} = 687,27 \text{ L/h.TR}$$

A perda de água é então calculada pela fórmula abaixo:

$$\dot{m}_p = 0,01 \times 687 = 6,87 \text{ L/h.TR}$$

Onde:

$\dot{m}$ : taxa de fluxo de massa de água em (L/h.TR).

$q_w$ : Calor recebido pela água no condensador (kcal/h).

$c_p$ : Calor específico da água (1 kcal/kg. $^\circ\text{C}$ ).

$\dot{m}_p$ : taxa de fluxo de massa de água perdida em L/h.TR

$\Delta t$ : Diferença de temperatura entre a entrada e a saída da água de condensação (5,5  $^\circ\text{C}$ )

O cálculo acima considera que, para cada TR (3024 kcal/h) de capacidade de resfriamento da máquina, é necessária uma potência no compressor de 25% (756 Kcal/h), e que a perda de calor sensível da água no condensador é a soma da energia que entra no compressor e no evaporador; e também que o diferencial de temperatura entre a água que sai do condensador (34,5 $^\circ\text{C}$ ) e a que entra no condensador (29 $^\circ\text{C}$ ) é de 5,5 $^\circ\text{C}$ .

O AHRI (Air-Conditioning, Heating & Refrigeration Institute), conforme a página 4 da AHRI STANDARD 550/590 (2003), considera que a vazão de água de condensação é de 682,344 L/h.TR, valor este bem próximo dos cálculos acima.

## 2.5 Os sistemas de filtragem

Todas as máquinas que atendem aos sistemas de ar condicionado devem promover uma temperatura, umidade, movimentação, renovação e grau de pureza do ar e um nível de ruído adequado nos ambientes condicionados. O grau de pureza do ar pode ser obtido através da correta utilização de filtros nas máquinas e também na tomada de ar exterior da casa de máquinas onde ela está instalada.

## **2.6 Sistemas de tratamento e distribuição do ar**

### **2.6.1 Casa de máquinas**

A casa de máquinas é o local onde é instalado o equipamento de ar-condicionado (exceto nos casos de ACJs, Mini-splits e VRFs) e é composta por uma janela para captação de ar exterior, um vão para captação de ar de retorno, um sistema de dreno da água de condensação, porta de acesso com abertura voltada para o lado externo, tomada elétrica, iluminação incandescente e ponto de água para fazer a manutenção.

É na casa de máquinas que o ar é tratado para chegar ao ambiente com a devida temperatura, umidade, velocidade, nível de CO<sub>2</sub>, nível de fungos, nível de poeira e outros parâmetros necessários ao conforto dos usuários.

Conforme a parte três da norma ABNT NBR 16.401/2008, a iluminação da casa de máquinas deve apresentar potência de 500 lux e não pode ser feita por meio de lâmpadas fluorescentes ou de descarga, em função do risco de ocorrência do efeito estroboscópico, que pode prejudicar a visualização adequada de movimento de corpos girantes.

Entre os sistemas de tratamento e distribuição de ar tem-se:

#### **2.6.1.1 Dispositivo para captação de ar exterior**

Esse dispositivo é composto de um vão voltado para o ambiente externo, grelha externa para proteção e manutenção do padrão de acabamento, registro para regulagem da vazão de entrada de ar e filtro para garantir o grau de pureza mínimo necessário para este ar.

#### **2.6.1.2 Dispositivo para captação do ar de retorno**

Esse dispositivo é composto de um vão voltado para o entreforro, quando o retorno se dá a “plenum” pelo entreforro, ou para o duto de retorno, quando o retorno é feito por meio de

dutos, ou para o ambiente interno, quando o retorno é feito a “plenum”, pela porta da casa de máquinas, ou para a laje, quando o retorno é oriundo de um pavimento superior ou inferior àquele onde está instalada a casa de máquinas, com ou sem rede de dutos.

Assim como o dispositivo para captação do ar exterior, o dispositivo para captação do ar de retorno também possui registro para regulagem de vazão. O objetivo desses registros é garantir que as vazões de ar externo e de ar de retorno sejam compatíveis com aquelas estipuladas em projeto. Uma vazão excessiva de ar externo, que possui mais entalpia do que o ar de retorno implicará em aumento significativo do consumo de energia elétrica. Uma vazão reduzida de ar externo, que possui menor nível de CO<sub>2</sub> do que o ar de retorno, pode acarretar aumento excessivo do nível de CO<sub>2</sub> do ambiente.

### ***2.6.2 Rede de dutos***

Tradicionalmente fabricados, no Brasil, com chapas galvanizadas, mas também podendo ser utilizados outros materiais como lã de vidro, plástico, MPU, dentre outros, os dutos são utilizados para levar o ar oriundo da máquina para os ambientes condicionados (dutos de insuflação) e também para trazer o ar de retorno de volta à casa de máquinas (dutos de retorno).

Quando esses dutos, tanto os de insuflação quanto os de retorno, passam pelo entreferro, como este é um ambiente não condicionado, eles devem ser isolados termicamente.

### ***2.6.3 Colarinhos***

Ao chegar ao ambiente a ser condicionado através de dutos, o ar de insuflação deve ser distribuído ao ambiente de acordo com determinados padrões de vazão e velocidade nas bocas de ar. Entre os dutos de insuflação e essas bocas de ar é construído um pequeno trecho de dutos que é chamado de colarinho.

#### **2.6.4 Bocas de insuflação de ar (Grelhas e Difusores)**

Dependendo do projeto, o ar de insuflação será levado para o ambiente por meio de grelhas (geralmente insuflação na direção horizontal) ou difusores (geralmente insuflação na vertical).

O dimensionamento dessas bocas de ar vai depender da vazão necessária, do pé direito da construção, da carga térmica e da velocidade do ar para que ele alcance a zona climatizada dentro de um nível de conforto adequado.

### **2.7 Carga térmica**

Carga térmica é o somatório de todo calor que é transmitido de fora para dentro do ambiente com o que é produzido internamente.

Dentre os componentes que vêm de fora do ambiente, podemos citar: o calor sensível decorrente da transmissão pelas paredes, pisos, tetos e vidros; e decorrente da radiação solar sobre os vidros, paredes externas e coberturas; calor sensível e latente decorrente da infiltração de ar pelas portas e janelas e introduzido no sistema devido ao ar exterior de renovação.

Já os componentes da carga térmica gerados internamente são os seguintes: calor sensível e latente gerado pelas pessoas; calor sensível devido à iluminação, motores elétricos, equipamentos de informática ou telecomunicação e demais equipamentos elétricos.

### **2.8 Norma ABNT NBR 6401/1980**

Esta norma, já substituída com a edição da ABNT NBR 16.401/2008, é composta de dezessete páginas, foi elaborada há trinta e um anos, e não poderia contemplar todos os avanços ocorridos na área de climatização, em especial no que diz respeito à revolução da informática e da automação; bem como no que tange às mais recentes determinações dos

governos em relação à saúde, segurança e medicina do trabalho, inclusive a qualidade do ar interior (IAQ – Indoor Air Quality).

Ela é composta por apenas uma parte, ao contrário da atual, composta por três partes e noventa páginas.

## **2.9 Normas ANSI/ASHRAE Standard 62.1**

A norma norteamericana ANSI/ASHRAE 62.1 (2004) serviu como base para elaboração da parte três da ABNT NBR 16.401/2008 por sua grande importância. Abaixo é apresentado um resumo dos pontos mais importantes da mesma.

Traduzindo para o Português, essa norma pode ser definida como “Ventilação para uma Aceitável Qualidade do Ar Interior” e foi publicada pela primeira vez em 1973, como Standard 62. As normas da série 62.1 da ASHRAE são agora atualizadas regularmente usando o que aquela associação denomina como “contínuos procedimentos de manutenção da ASHRAE”. De acordo com esses procedimentos, as normas da série ANSI/ASHRAE Standard 62.1 são continuamente revisadas por meio de adendos que são colocados em consulta pública, aprovados pela ASHRAE e pela ANSI e publicados em um suplemento no prazo de aproximadamente dezoito meses após cada nova edição, ou em uma nova e completa edição publicada a cada três anos, como é o caso da mais recente edição, de 2010.

As normas da série ANSI/ASHRAE Standard 62.1 passaram por algumas mudanças significativas ao longo dos anos, refletindo a constante expansão do conhecimento, experiências e pesquisas relativas à ventilação e à qualidade do ar. Enquanto o propósito dessa norma se manteve consistente, para especificar as mínimas taxas de ventilação e outros parâmetros para oferecer a qualidade do ar interior aceitável na ocupação humana de recintos e que minimizam os efeitos adversos à saúde, os meios para obtenção dessa meta têm evoluído.

A ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 é a mais recente edição das normas da série ANSI/ASHRAE Standard 62.1. A edição 2010 combina a norma de 2007 com vinte adendos aprovados e publicados sobre a edição de 2007, desse modo oferecendo uma norma consolidada e de fácil uso. Específicas informações sobre o conteúdo de cada adendo e a respectiva data de sua aprovação podem ser consultadas em seus apêndices.

Em sua primeira edição, a norma adotou uma prescrição aproximada para ventilação ao especificar taxas mínimas e recomendadas de vazão de ar exterior para obter uma qualidade aceitável do ar interior para uma variedade de espaços. Em sua edição de 1981, a norma reduziu as taxas mínimas de vazão de ar exterior e introduziu uma alternativa de desempenho com base na aproximação, ou seja, o “Indoor Air Quality (IAQ) Procedure”, que possibilitou o cálculo da quantidade de ar exterior necessário para manter os níveis de contaminantes no ar interno abaixo dos limites aceitáveis. Hoje em dia, a norma ainda conserva os dois procedimentos para projetos de ventilação, o “IAQ Procedure” e o “Ventilation Rate Procedure (VRP)”.

Em sua edição de 1989 e em resposta ao crescimento do número de edifícios com aparentes problemas na qualidade do ar interior, a norma aumentou significativamente as taxas mínimas de vazão de ar externo e introduziu também os requisitos para se obter a vazão de ar externo para recirculação de ar exterior em zonas múltiplas. As edições de 1999 e 2001 fizeram várias pequenas alterações e esclarecimentos que não modificaram as vazões mínimas já estabelecidas. Na edição de 2004, foi modificado o “IAQ Procedure” para melhorar a observância a esse regulamento, mas, mais significativamente, foi modificado o “Ventilation Rate Procedure (VRP)”, alterando as taxas mínimas de vazão de ar externo e os procedimentos para cálculo do fluxo de ar externo tanto no nível da zona ventilada quanto no sistema como um todo. Na edição de 2007 foram introduzidas algumas atualizações significativas, mas elas focaram mais os esclarecimentos e instruções de uso.

A edição 2010 da norma fez uma revisão e atualização em vários aspectos. Algumas mudanças removeram inconsistências dentro da norma e proporcionaram maior clareza. Dentre as maiores mudanças, destacam-se:

- A eliminação da seção 6.2.9, que tratava de ventilação em área com fumantes. Ventilação para tais espaços não mais é coberta por essa norma;
- A definição dos requisitos mínimos para esclarecer quando os sistemas de ventilação têm que ser operados;
- A Alteração da localização do item relativo aos requisitos à ventilação natural para uma nova seção, a 6.4, e a inclusão de prescrições para procedimentos de ventilação natural para os existentes “VRP”, da seção 6.2 e para o “IAQ Procedure”, da seção 6.3. A norma agora determina também que a maioria dos edifícios projetados para atingir os requisitos de ventilação natural deve incluir um sistema mecânico de ventilação que atinja os requisitos do “VRP” ou do “IAQ Procedure”; sistemas mecânicos de operação devem ser ativados sempre que as condições preventivas assim o recomendem.

- Apesar dos procedimentos usados para determinar as taxas de fluxo de ar exterior, destaca-se também a alteração da localização da tabela 6-4 e outros requisitos relativos aos sistemas de exaustão para uma nova seção, a 6.5, desde que os requisitos de exaustão se apliquem a todos os edifícios;

- A revisão do “IAQ Procedure”, tornando-o mais robusto. No apêndice B, oferece uma tabela de compostos orgânicos voláteis que os profissionais devem considerar em seus projetos, tais como benzeno, bromometano, clorobenzeno, clorofórmio, dentre outros.

- A inclusão de requisitos adicionais relativos a projetos de sistemas de ventilação controlados pela demanda.

- A revisão de requisitos para separação do ar externo de entrada do ar de exaustão.

- A inclusão da tabela 6-1, sobre a taxa de ventilação para algumas categorias de ocupação e revisou taxas de ventilação de outras categorias.

- A exclusão dos requisitos de ventilação para espaços destinados ao tratamento de saúde, pois eles agora são cobertos pela norma ASHRAE/ASHE Standard 170 (2008).

- A inclusão de mínimos requisitos de filtragem relativos a PM2.5 (material particulado menor que 2,5 micrômetros), e a alteração dos requisitos mínimos de ar limpo relativos ao ozônio para refletir as mudanças no relatório de procedimentos de ozônio da U.S. EPA. A transferência da tabela 4-1 para um apêndice informativo para facilitar atualizações quando a EPA fizer mudanças no seu NAAQS.

A última edição dessa norma, de 2010, contém os seguintes assuntos:

### ***2.9.1 Propósito da norma***

Especificar as taxas mínimas de ventilação e outros parâmetros que são aceitáveis pelo ser humano.

### ***2.9.2 Escopo da norma***

Define que ela se aplica a todos os espaços destinados à ocupação humana, exceto casas simples, prédios residenciais de até três pavimentos, veículos e aeronaves. E trata de

filtragem, instalação, comissionamento, operação e manutenção com foco na qualidade do ar interior.

### **2.9.3 Definições**

Define os conceitos básicos de qualidade do ar interior, filtros (aos quais ela atribui também o nome de “air-cleanig system”), ar-condicionado, ar de renovação, ar recirculado, transferência de ar, ventilação, zona de respiração, autoridade normatizadora, concentração, espaço condicionado, contaminante, sistema de ventilação para recuperação de energia, áreas de fumantes, exfiltração, espaço industrial, infiltração, ventilação mecânica, microorganismos, ventilação natural, área líquida ocupada, espaço ocupável, odor, acessibilidade, ventilação, volume do espaço, zona de ventilação.

Além disso, esse item define o conceito de “Demand-Controlled Ventilation (DCV)”, como sendo o meio pelo qual o fluxo de ar exterior destinado à zona de ocupação pode ser variado de acordo com a quantidade de ocupantes.

### **2.9.4 Sistemas e equipamentos**

Define como devem ser projetados os sistemas de distribuição do ar. E ainda discorre sobre os dutos de exaustão, controle do sistema de ventilação, bandejas de dreno de água condensada, projeto de tomada de ar exterior, captura local de contaminantes, ar de combustão, definições dos filtros para remoção de particulados, sistemas de desumidificação, serpentinas e trocadores de calor, sistemas com umidificação ou *spray* de água, acesso para inspeção, limpeza e manutenção, recomendações para a construção da envoltória do edifício, cuidados com edifícios que têm garagens, classificação e recirculação do ar, áreas com e sem fumantes, dentre outros assuntos.

### **2.9.5 Procedimentos**

Procedimentos gerais para obtenção de uma boa qualidade do ar, aí inclusos procedimentos acerca da ventilação, tratamento do ar externo, tratamento de particulados finos, outros contaminantes externos, fórmula para cálculo da vazão de ar exterior, apresentação da tabela 6-1 (taxa mínima de ventilação na zona de respiração), a tabela 6-2 (eficiência da distribuição de ar na zona de ocupação), tabela 6-3 (eficiência do sistema de ventilação), procedimentos de IAQ, procedimentos no caso de ventilação natural, exaustão, apresentação da tabela 6-4 (taxas mínimas de exaustão).

### **2.9.6 Construção e partida de sistemas**

No capítulo sete, a norma trata da fase de construção do sistema de ar-condicionado e de quais os cuidados devem ser observados nessa fase, sobre os cuidados com os filtros, proteção dos materiais em geral, proteção das áreas ocupadas, contaminação de outras áreas não contempladas pela obra, construção dos dutos, dentre outros.

Quanto à partida do sistema, a norma discorre sobre balanceamento de ar, teste do sistema de dreno de água condensada, partida do sistema de ventilação, *dampers* de ar externo e documentação que o instalador deve preparar para entregar ao proprietário do sistema.

### **2.9.7 Operação e manutenção**

O capítulo oito trata da necessidade de se manter no sistema um manual de operação e de manutenção em meio impresso ou em meio eletrônico, e que esse manual seja sempre atualizado quando necessário, contemplando operação e manutenção do sistema de ventilação, orientações quanto à troca de filtros, periodicidade dos procedimentos de limpeza e manutenção para os vários aspectos e dispositivos da instalação.

É apresentada nesse capítulo a tabela 8-1 que trata da frequência mínima das atividades de manutenção no sistema de ar condicionado.

### **2.9.8 Referências**

No capítulo nove, a norma cita todas as referências normativas que serviram como base para a sua elaboração.

### **2.9.9 Apêndices**

A partir da página 22, a norma passa a apresentar uma série de apêndices que, respectivamente, tratam dos seguintes assuntos:

- Apêndice A: Sistemas de múltipla zona;
- Apêndice B: Sumário de algumas instruções (guidelines) sobre qualidade do ar interior. Nesse apêndice é apresentada a tabela B-1, que trata de um comparativo entre as várias normas e regulamentos pertinentes à área de qualidade do ar interno, dentre as quais são citadas as normas NAAQS/EPA, OSHA, MAK, NIOSH, ACGIH e outras normas canadenses e européias. A tabela B-2 trata da concentração ideal de vários tipos de contaminantes. A tabela B-3 trata de compostos orgânicos voláteis;
- Apêndice C: Trata dos requisitos mínimos para respiração com base nos níveis de concentração de CO<sub>2</sub>. É apresentada a figura C-1, que mostra um modelo de duas câmaras sobre vazão de ar em uma casa de máquinas; a figura C-2, que trata dos dados do metabolismo humano; a figura C-3, que trata dos requisitos de ventilação;
- Apêndice D: Apresenta as equações aceitáveis para balanceamento de massa para uso nos procedimentos de IAQ. Contém a tabela D-1, que trata do fluxo de ar externo requerido na zona ou concentração de contaminantes na zona de respiração com a recirculação e filtragem por meio de sistemas de zona única. Nas figuras D-1 e D-2 são apresentados esquemas de sistemas de ventilação com vazão constante e com vazão variável respectivamente;
- Apêndice E: Contém as tabelas E-1 e E-2 que tratam de regulamentos específicos sobre legislações americanas e canadenses;
- Apêndice F: Este apêndice trata de orientações que devem ser observadas para a segregação entre o ar interno que deve ser retirado e o ar exterior que deve ser aspirado pelo

sistema. Contém as tabelas F-1 (distância mínima de separação) e F-2 (mínimo fator de diluição), além da figura F-1 que trata da velocidade de descarga do ar;

- Apêndice G: Trata dos regulamentos e aplicações que devem ser observados para que essas normas sejam aplicadas;

- Apêndice H: Trata da documentação para a qualidade do ar interior;

- Apêndice I: Trata dos parâmetros de conforto determinados pela NAAQS;

- Apêndice J: Trata das atualizações e adendos que foram incorporados nessa norma em relação à norma de 2007 e as respectivas datas.

## **2.10 Portaria 3523/98 do Ministério da Saúde (Regulamento Técnico para Procedimentos de Verificação Visual dos Procedimentos de Limpeza)**

A Portaria 3523 (1998), do Ministério da Saúde, foi a primeira regulamentação brasileira voltada para a melhoria da qualidade do ar interior e aprovou um regulamento técnico contendo medidas básicas referentes à verificação visual dos procedimentos 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 a prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados.

Em seu 2º artigo, ela determinou que fosse objeto de regulamento técnico a ser elaborado por aquele ministério, medidas específicas referentes a padrões de qualidade do ar em ambientes climatizados, no que diz respeito à definição de parâmetros físicos e composição química do ar de interiores, a identificação de 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.

Já no 5º artigo, a portaria determina que todos os sistemas de climatização devem estar em condições adequadas de limpeza, manutenção, operação e controle, observadas as determinações lá contidas no sentido de prevenção de riscos à saúde dos ocupantes, lá elencando uma série de procedimentos de manutenção que devem ser executados pelos proprietários.

Dentre as determinações desse artigo, consta, no item “F”, que o sistema deve “garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados de, no mínimo 27 m<sup>3</sup>/h/pessoa”.

No 6º artigo, essa portaria determina que, em sistemas a partir de 5 TR (15.000 Kcal/h ou 60.000 Btu/h), os proprietários, locatários e prepostos, responsáveis pelo sistema, deverão manter um responsável técnico habilitado, com as atribuições de implantar e manter um PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle) do sistema de ar condicionado.

Esta portaria, publicada dezoito anos após a NBR 6401/80, por si só já demandava uma revisão urgente naquela norma, mas trazia consigo uma série de dúvidas e inconsistências quando confrontada com as normas internacionais, e carecia, conforme consta em seu próprio 2º artigo, de uma regulamentação quanto aos parâmetros ideais de qualidade do ar interior.

Isso viria a ser parcialmente suprido com a edição, em 24/04/2000, da RE ANVISA 176, que já representava um avanço na legislação brasileira de climatização, mas que seria rapidamente substituída pela RE ANVISA 009/2003.

### **2.11 Resolução ANVISA 009/2003 (Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo)**

Como a RE ANVISA 176 não estava atendendo plenamente às expectativas, em 16/01/2003 foi publicada a RE ANVISA 009 (2003), que introduziu algumas alterações na resolução anterior, em especial desvinculando os serviços de limpeza, manutenção e comercialização de produtos destinados aos sistemas de climatização das análises laboratoriais e sua responsabilidade técnica, já que isso representava um grande vício no mercado, pois permitia que algumas empresas de manutenção manipulassem os resultados dos laudos de análise microbiológica do ar de acordo com o seu próprio interesse.

Esta resolução, em seu item 3.4, manteve parcialmente a vazão de ar exterior em 27 m<sup>3</sup>/h/pessoa, conforme Portaria 3523, mas já admitiu uma vazão de ar externo de apenas 17 m<sup>3</sup>/h/pessoa em ambientes de alta rotatividade.

Apresentamos abaixo os parâmetros considerados ideais para a qualidade do ar interior de ambientes climatizados artificialmente conforme a RE ANVISA 009/2003.

### ***2.11.1 Fungos***

750 ufc/m<sup>3</sup>, onde “ufc” significa “unidade formadora de colônia”. A relação entre a quantidade de fungos interna e a externa deve ser inferior a 1,5 e são inaceitáveis fungos patogênicos e toxigênicos.

### ***2.11.2 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)***

Essa resolução estabeleceu um número fixo para o nível de CO<sub>2</sub> dos ambientes climatizados 1000 ppm (partes por milhão), independentemente do nível de CO<sub>2</sub> do ambiente externo, o que é muito questionado no mercado e já foi objeto de revisão em normas internacionais.

### ***2.11.3 Aerodispersóides***

A norma estabelece que o nível de aerodispersóides (poeira) não deve ultrapassar o limite de 80 µg/m<sup>3</sup>.

### ***2.11.4 Temperatura***

A RE ANVISA 009/2003 remete aos parâmetros determinados pela ABNT NBR 6.401/80, que já não podem ser aplicados, e cujos valores são os seguintes:

- Temperatura de bulbo seco no verão: 23 a 26 °C.
- Temperatura de bulbo seco no inverno: 20 a 22 °C.

### **2.11.5 Umidade**

- No verão: 40 a 65%.
- No inverno: 35 a 65%.

### **2.11.6 Taxa mínima de renovação do ar**

27 m<sup>3</sup>/h/pessoa, exceto em ambientes de alta rotatividade, em que a taxa pode ser de 17 m<sup>3</sup>/h/pessoa, desde que os níveis de CO<sub>2</sub> não ultrapassem 1000 ppm. Essa norma não relacionou o nível de renovação de ar à área dos ambientes, conforme estabelece a norma ANSI/ASHRAE 62.1 (2004).

### **2.11.7 Filtros**

- Na captação de ar exterior: G1.
- Nos condicionadores dos sistemas centrais: G3.

### **2.11.8 Velocidade do ar**

A RE ANVISA 009/2003 estabelece que a velocidade máxima do ar, no nível de 1,5 m do piso, deve ser de 0,25 m/s.

### ***2.11.9 Periodicidade de Manutenção***

Esta resolução estabelece a periodicidade mínima de manutenção de vários componentes dos sistemas de ar condicionado que impactam diretamente na qualidade do ar interior e deixa claro que a frequência mínima da manutenção deve ser mensal, mas existem algumas rotinas específicas que podem ser trimestrais ou semestrais.

### ***2.11.10 Possíveis Fontes de Poluentes Biológicos***

São definidas nesta resolução, no seu Quadro I, possíveis fontes de poluentes biológicos, no qual a norma relaciona os agentes biológicos (bactérias, fungos, protozoários, vírus, algas, pólen, artrópodes, roedores, morcegos e aves), com as principais fontes desses agentes em ambientes interiores e quais são as principais medidas de correção que devem ser adotadas.

### ***2.11.11 Possíveis fontes de poluentes químicos***

São definidos nesta resolução, em seu Quadro II, possíveis fontes de poluentes químicos, no qual a norma relaciona os agentes químicos (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Formaldeído, Material Particulado, Fumo de Tabaco, COV – compostos orgânicos voláteis, COS-V – compostos orgânicos semi-voláteis) com as principais fontes desses agentes em ambientes interiores e quais são as principais medidas de correção que devem ser adotadas.

### ***2.11.12 Estratégias de amostragem***

A resolução determina a quantidade mínima de amostras de acordo com a área construída, os locais onde essas amostras deverão ser coletadas, os procedimentos que

deverão ser observados, os tipos de equipamentos e de instrumentos que deverão ser utilizados, a periodicidade de coleta de amostras, o princípio de operação dos amostradores, a periodicidade de calibração, faixas de medição, princípio de operação dos aparelhos e o grau de precisão dos instrumentos para que possam ser aceitos em laudos de análise microbiológica do ar.

### ***2.11.13 Responsabilidade Técnica***

Esse item da norma reforça a obrigatoriedade, já estabelecida anteriormente pela Portaria 3523, de que ambientes com capacidade acima de 05 TR (toneladas de refrigeração) possuam um Engenheiro Mecânico para ser o responsável técnico pela correta execução dos serviços de manutenção.

Tal item estabelece também a formação técnica dos profissionais que poderão efetuar os serviços de análise do ar.

Estabelece ainda que “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”.

## **2.12 Norma ABNT NBR 16.401/2008**

Essa norma, lançada em 2008, foi baseada nas normas da ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*, em especial a norma 62.1 – 2004. Trata-se da mais recente publicação brasileira relativa ao assunto e foi elaborada pelo CB-55 da ABNT, com grande participação da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA.

A seguir são apresentadas as principais partes dessa norma.

### **2.12.1 Partes componentes**

Essa norma foi publicada em três partes. A primeira parte foi denominada como “Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte um – Projetos das Instalações”.

A segunda parte foi denominada como “Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte dois – Parâmetros de Conforto Térmico”.

A terceira parte foi denominada como “Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte três – Qualidade do Ar Interior”.

### **2.12.2 Parte Um – Projeto das instalações**

Estabelece termos e definições a serem adotados na área de ar-condicionado, introduz um item exclusivo para elaboração de documentação de projeto, traz as condições climáticas e termoigrométricas de projeto, define a forma de se calcular a carga térmica, estabelece critérios de projeto dos sistemas e critérios de seleção dos equipamentos principais; trata de difusão de ar, de projeto de distribuição do ar, inclusive trazendo uma reprodução autorizada da SMACNA sobre a construção de redes de dutos metálicos.

Essa norma tem um item exclusivo sobre instalações de água gelada, água quente e água de condensação, inclui um item sobre linhas frigoríficas, instalações elétricas, controles e automação e ensaios.

Também apresenta no Anexo “C”, uma série de tabelas importantes sobre as fontes internas de calor e umidade.

### **2.12.3 Parte Dois – Parâmetros de conforto térmico**

Nesta parte da norma, são apresentados os termos e definições inerentes à área de conforto térmico como assimetria da temperatura radiante, isolamento da roupa, metabolismo,

parâmetros ambientais, temperatura do ar, temperatura de globo, temperatura operativa, temperatura radiante média e plana, turbulência, velocidade e zona ocupada.

Os fatores que afetam o conforto térmico são tratados no item três, que contempla o conceito de “clo”, ou resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente, e também o conceito de “met”, ou taxa de metabolismo das pessoas.

No item cinco, essa norma introduz um conceito de temperatura de forma diferente daquilo que era apresentado na antiga norma ABNT NBR 6401/1980, ou seja, enquanto aquela norma apresentava, em sua tabela 1 (condições internas para verão), as temperaturas recomendáveis e máximas para cada tipo de ambiente; a nova norma apresenta uma faixa de temperaturas para verão com roupa típica de 0,5 “clo” e outra faixa de temperaturas para inverno com roupa típica de 0,9 “clo”, sem relacionar o tipo de ambiente.

No item que trata de outras condições operacionais, são previstas situações em que existe uma maior velocidade do ar, um maior nível de atividade e também outros tipos de roupa.

Já no item 6, que trata de avaliação e controle, essa parte da norma introduz subsídios para que seja avaliada a conformidade dos parâmetros ambientais, ou seja, a norma introduz no mercado a etapa de comissionamento, procedimento este que já é muito utilizado fora do Brasil, inclusive com a publicação de normas sobre o assunto por parte da ASHRAE.

#### ***2.12.4 Parte Três – Qualidade do ar interior***

Baseada na norma ASHRAE 62.1-2004 (Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality), essa parte da norma é o que há de mais novo nesta publicação e que provoca uma verdadeira revolução no mercado.

No item relativo à ventilação são abordadas a qualidade do ar interior, a vazão de ar exterior, a vazão eficaz, a vazão da zona de ventilação e a vazão de ar exterior a ser suprida pelo sistema; agora não se recomenda uma vazão fixa em função da quantidade de pessoas, mas se leva em conta pessoas, tipo de ocupação, área climatizada, nível de ocupação e eficiência de distribuição de ar na zona.

Sobre a filtragem, que é tratada no item seis, as alterações introduzidas são muito grandes e polêmicas, já que é alterada a norma de classificação de filtros que estava fartamente disseminada no mercado, sendo adotada a norma EN 779 (2002).

Além disso, o que foi estabelecido na norma vai de encontro ao que determina a ANVISA e ao que os fabricantes de máquinas têm condição de oferecer ao mercado.

No item sete, esta parte da norma trata dos requisitos de projeto e execução relativos à qualidade do ar e aborda orientações sobre a localização da tomada de ar exterior, sobre a forma de se projetar a casa de máquinas, sobre a forma de instalação de aparelhos no entreferro e telhado, sobre os aspectos construtivos dos gabinetes metálicos, dos ventiladores, serpentinas, umidificadores, dutos de ar, terminais de ar e também sobre atenuadores de ruído.

No último item, esta parte da norma apresenta os requisitos de manutenção relativos à qualidade do ar, seguidos dos anexos A (questionário para avaliação), B (poluentes químicos do ambiente interior), C (CO<sub>2</sub> e qualidade do ar interior), que apresenta um estudo mais detalhado para se analisar esse aspecto da qualidade do ar interior, e D (exemplo de cálculo de vazão de ar exterior), que apresenta um exemplo típico de como se calcular a vazão de ar externo.

### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho foi elaborado a partir de leituras de cada item da ABNT NBR 16.401/2008, em suas partes 1, 2 e 3, à luz, principalmente, da norma anterior, a ABNT NBR 6401/80, da Portaria 3523 do Ministério da Saúde, de 31/08/1998, da Resolução ANVISA 009, de 16/01/2003, do handbook ASHRAE FUNDAMENTALS 2009, da norma ANSI/ASHRAE 62.1 (2010), de revistas e de outras fontes citadas na bibliografia.

Reuniões foram realizadas entre o autor e membros da ABRAVA, que colaboraram com a ABNT na elaboração da nova norma, com o CB-55 da ABNT, responsável pela norma e também com projetistas, fabricantes e profissionais que atuam no mercado.

Agregou-se a esse processo teórico-reflexivo a experiência profissional de dezenove anos do autor que atua, desde 1992, na área ar-condicionado de um grande banco e também em grandes empresas da área automobilística, o que lhe proporciona uma visão prática da norma na perspectiva do usuário, que tem que conviver com o sistema projetado (e com eventuais problemas do mesmo) durante todo o seu ciclo de vida útil.

#### 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE CRÍTICA

Toda essa série de dispositivos legais relacionados no item dois colocava em discussão a necessidade de se regulamentar os sistemas de climatização brasileiros, seja no projeto ou na manutenção.

A introdução maciça dos sistemas de automação predial, a descoberta de novas tecnologias, a necessidade cada vez maior de se cuidar da saúde e do bem estar dos usuários, a busca incessante de eficiência energética e a clara defasagem de todas as normas brasileiras em relação às normas internacionais exigiam que o Brasil revisasse a sua norma relativa à área de ar-condicionado. E assim foi feito, da norma ABNT NBR-6401/1980 chegou-se à ABNT NBR 16.401/2008, o que melhorou consideravelmente o contexto normativo relativo à área de ar-condicionado no Brasil.

Contudo, ao se desenvolver uma análise mais precisa a respeito da norma supracitada percebe-se que ainda há questões que precisam de uma melhor reavaliação. Portanto, nos itens seguintes faz-se a apresentação de uma discussão dos principais aspectos da ABNT NBR 16.401/2008, tanto daqueles que merecem louvor quanto dos que deverão ser levados em conta em sua próxima revisão.

A norma brasileira ABNT NBR 16.401/2008 foi lançada no mercado em agosto de 2008, 28 anos após a versão anterior, que era a norma ABNT NBR 6401/80. Apesar de tão recente e de ter saído 28 anos após a norma anterior, quando se faz uma breve leitura e análise dessa nova norma à luz de outras normas, portarias, publicações e resoluções, como: a norma ASHRAE 62.1-2010, RE ANVISA 009/2003, Portaria 3523 do Ministério da Saúde e versões recentes dos Handbooks da ASHRAE, constatam-se algumas oportunidades de melhoria que demandam a necessidade de uma revisão. Por outro lado, constatam-se também grandes progressos que merecem ser enaltecidos.

Conforme informado por membros do CB-55 da ABNT, só se admite uma revisão da norma após cinco anos de sua publicação, portanto em 2013 pode-se publicar uma nova versão mais atualizada, agregando-se as necessárias correções às melhorias já implantadas.

Conforme a revista da ABRAVA, ed. 282, de agosto de 2010, essa entidade, que congrega a maioria das empresas e profissionais do ramo, informou que “dois anos se passaram desde o lançamento da norma e membros da ABRAVA discutiram algumas lacunas a serem melhoradas para transpor as dificuldades no sentido de torná-la cada vez mais efetiva nos projetos novos e retrofits”.

Segundo essa entidade “em discussão realizada pelo Departamento Nacional de Consultores e Projetistas, o consenso foi de que há questões a serem reavaliadas ou analisadas com o intuito de proporcionar os devidos avanços na Norma Brasileira. Entre eles, a tabela de dados climatológicos, o índice de propagação superficial de chama, de acordo com a norma ABNT NBR 9442/1986 e ASTM E-662-06 (índice de densidade ótica de fumaça), renovação de ar, classe de vazamento e, por último, filtragem”.

#### **4.1 Índices de renovação de ar exterior**

Os índices de renovação de ar externo, por exemplo, que são definidos pela RE ANVISA 009 de forma simples, pela ABNT NBR 16.401/2008 é precedido de uma série de considerações que, na prática, acabam remetendo os resultados dos cálculos a valores muito próximos daqueles prescritos, de forma simplificada, pela RE ANVISA 009. Em que pese tal proximidade, os cálculos devem ser mantidos de acordo com os conceitos emanados da nova norma, mas é necessário que tal metodologia seja adotada pela Portaria 3523/1998 e pela RE ANVISA 009/2003.

#### **4.2 Dados climatológicos de projeto**

Segundo projetistas vinculados à ABRAVA, a norma deveria fornecer dados climáticos de mais localidades e da mesma forma que são coletados pela ASHRAE; isto é, por meio de tratamento estatístico dos valores de hora em hora, de todas às 8.640 horas do ano, dos TBS (temperatura de bulbo seco) com TBU (temperatura de bulbo úmido) simultâneo, registrados durante o período de dez ou mais anos e publicados pela Organização Meteorológica Mundial. Para tanto, tais projetistas entendem que será fundamental obter apoio de entidades governamentais como a Eletrobrás e de instituições de ensino e pesquisa como a Universidade Federal de Santa Catarina, que já desenvolveram trabalhos nesse sentido.

### **4.3 Diagramação e formatação final da norma**

Em face dos vários problemas de formatação e diagramação da norma, após dois anos de sua publicação, foi feita uma consulta à ABNT em setembro/2010, visando obter uma versão mais atualizada da mesma, mas não existe nada nesse sentido, daí a necessidade de sua revisão até mesmo nesse aspecto formal.

### **4.4 Referências a documentos substituídos**

A ABNT NBR 16.401/2008 já foi publicada fazendo referências a várias normas internacionais já substituídas em seus países de origem, como a ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004, por exemplo, já substituída, à época, pela edição de 2007, edição esta também já substituída em 2010.

### **4.5 Falta de regulamentação dos equipamentos do tipo Minisplit**

Como hoje em dia mais de 70% do que se instala no mundo são aparelhos do tipo Minisplit, a norma não dispensou um tratamento mais detalhado a esse assunto visando esclarecer como os fabricantes e comerciantes vão se adequar aos seus preceitos, já que os referidos equipamentos disponíveis no mercado não atendem a essa norma em muitos aspectos.

Faz-se relevante ressaltar que mesmo os equipamentos antigos de maior potência também deveriam passar por adaptações para atenderem à nova norma, o que muitas vezes é impraticável.

Portanto, é necessário que os envolvidos na publicação de normas e regulamentos inerentes à área de ar-condicionado se realinhem no sentido de produzir uma linguagem única para nortear o trabalho de todos.

## 4.6 Nomenclatura dos equipamentos

Contrariando o jargão popular que divide os condicionadores compactos em Self Contained com condensador incorporado, Self com condensador remoto, Splitão e Roof Top; a norma ABNT NBR 16.401/2008 colocou todos os três primeiros dentro de uma mesma classificação (Condicionador autônomo compacto – Self Contained), conforme consta em seu item 3.5.1, e reservou um item especial para o roof top (item 3.5.2) que possui as mesmas características dos anteriores e sequer é um equipamento muito utilizado no Brasil; portanto, não deveria merecer esse lugar de destaque na norma.

### 4.6.1 *Splitão*

A norma anterior ABNT NBR 6.401/1980 não definia claramente os tipos de condicionadores, conforme foi feito na norma atual, que não utilizou o termo “splitão”.

Ele está previsto na norma ABNT NBR 16.401/2008 como “Compacto” (self contained), quando ela cita, em seu item 3.5.1, que “o condicionador pode também ser apresentado dividido, para instalação à distância da unidade condensadora”.

Importante esclarecer que há uma diferença significativa entre “unidade condensadora”, que inclui compressor e condensador, e “condensador remoto”, em que é somente o condensador que fica na unidade externa, mas o compressor permanece na unidade interna.

A ABNT NBR 16.401/2008, em seu item 3.6, define unidade condensadora como “unidade montada em fábrica, composta de um ou mais compressores frigoríficos e condensadores resfriados a ar ou a água”.

Em consulta ao mercado, não foi encontrado nenhum fabricante no Brasil que fabrique unidades condensadoras com condensação a água, mas somente com condensação a ar.

#### **4.6.2 Self Contained**

A norma ABNT NBR 16.401/2008 enquadra esses aparelhos entre os chamados condicionadores autônomos compactos (self contained) e os define como

unidade com capacidade nominal geralmente superior a 17 kW (5 TR), montada em fábrica, comportando uma unidade de tratamento de ar com serpentinas de resfriamento de expansão direta conjugada a uma unidade condensadora, resfriada a ar ou a água, incorporada ao gabinete da unidade (ABNT NBR 16.401/2008).

Apresentam-se em duas nomenclaturas, conforme subitens abaixo.

##### **4.6.2.1 Self contained com condensador a ar incorporado**

Trata-se do Self propriamente dito, citado no item 3.5.1 da norma ABNT NBR 16.401/2008 como “compacto” (self contained), conforme mostrado anteriormente.

##### **4.6.2.2 Self contained com condensador a ar remoto**

A norma ABNT NBR 16.401/2008 prevê este tipo de equipamento dentro do item relativo ao Compacto (self contained) quando, em seu item 3.5.1 cita que “o condensador a ar pode ser desmembrado da unidade para instalação à distância”.

#### **4.6.3 Resfriadores de líquido (chiller)**

Este equipamento é classificado no item 3.2.1 da norma ABNT NBR 16.401/2008 como “Central de Água Gelada” e definido como “sistema central em que uma ou mais

unidades de tratamento de ar, cada uma operada e controlada independentemente das demais, são supridas com água gelada (ou outro fluido térmico), produzida numa central frigorígena constituída por um ou mais grupos de resfriadores de água e distribuída por bombas, em circuito fechado.

A norma não utiliza os termos comumente utilizados como “Chiller”, para designar essas centrais de água gelada, e “fan coil” para designar os gabinetes onde é feita a troca de calor entre o ar e a água gelada nas casas de máquinas dos ambientes condicionados.

#### **4.6.4 *Roof Top***

A Norma ABNT NBR 16.401/2008, apesar de ter colocado os condicionadores do tipo compacto (self contained) no item 3.5.1, no caso do roof top, ela o inclui no item 3.5.2 e o define como “condicionador compacto, projetado para ser instalado ao tempo, sobre a cobertura”. Assim, a norma classifica tal aparelho como “compacto” e não o inclui juntamente com os outros compactos no item 3.5.1.

#### **4.6.5 *Central multi-split VRV (vazão de refrigerante variável)***

Inexistentes no Brasil quando na elaboração da norma anterior e com utilização recente em nosso país, esses sistemas, citados no item 3.2.2 da primeira parte da norma como VRV (sigla exclusiva do fabricante japonês DAIKIN), são mais comumente conhecidos no mercado como VRF (Variable refrigerant flow), ou sistemas com fluxo de refrigerante variável.

A ABNT NBR 16.401/2008, em seu item 3.2.2, classifica esse sistema como Central multi-split VRV (vazão de refrigerante variável) e o define como:

sistema central em que o conjunto de unidades de tratamento de ar de expansão direta, geralmente instaladas dentro do ambiente a que servem (designadas unidades internas), cada uma controlada e operada independentemente das demais, é suprida em fluido refrigerante líquido em vazão variável por uma unidade condensadora central, instalada externamente (designada unidade externa).(NBR 16.401, item 3.2.2, 2008)

A utilização da sigla VRV ao invés do já conhecido VRF é algo que pode gerar confusão no mercado. Por sua vez, a atribuição do nome “multi-split” ao sistema de ar-condicionado do tipo VRF, mais uma vez gera confusão na medida em que essa designação já é utilizada há anos pelo fabricante *Springer Carrier* para classificar o seu equipamento tipo Splitão.

#### **4.6.6 Torre de resfriamento de água**

Enquanto a norma anterior não citava torres de resfriamento, a norma ABNT NBR 16.401/2008, parte 1, dedica o item 8.2 às torres de resfriamento e condensadores evaporativos e já incorpora as novas tecnologias quando recomenda que “a redução de capacidade seja feita pelo escalonamento dos ventiladores e/ou a redução da velocidade de rotação destes”.

A norma não tratou das torres de resfriamento em circuito fechado.

#### **4.6.7 Definição de Minisplit**

A norma define como minisplit, em seu item 3.5.3, um condicionador constituído por uma unidade de tratamento de ar de expansão direta, de pequena capacidade (geralmente inferior a 10 kW), instalada dentro do ambiente a que serve (designada unidade interna);, geralmente projetada para insuflação do ar por difusor incorporado ao gabinete, sem dutos, suprida em fluido refrigerante líquido por uma unidade condensadora instalada externamente (designada unidade externa).

Com relação à capacidade dos minisplits fabricados atualmente, já são ofertados em capacidades superiores a 60.000 Btu/h (17 kW).

Sabe-se também que alguns minisplits possuem o dispositivo de expansão na unidade condensadora, ou seja, quando o refrigerante sai da unidade condensadora, a linha que interliga as unidades não é mais necessariamente uma linha de líquido, podendo ser tanto uma linha de líquido subresfriado como uma linha de vapor saturado com título na faixa de 20%.

#### 4.7 Os sistemas de filtração

A norma anterior, em sua tabela 3, intitulada “recomendações para aplicações de filtros de ar”, estabelecia que os filtros de ar fossem divididos, conforme ASHRAE Handbook of Fundamentals de 1972, em G (grossos), F (finos) e A (absolutos).

Os filtros grossos eram subdivididos de G0 (eficiência de 30 a 59%) até G3 (eficiência acima de 85%) e eram voltados para frações grossas da poeira atmosférica (acima de 5 microns).

Os filtros finos eram subdivididos de F1 (eficiência de 40 a 69%) até F3 (eficiência acima de 90%) e eram voltados principalmente para frações finas da poeira atmosférica (1 a 5 microns).

Já os filtros absolutos, eram subdivididos de A1 (eficiência 85 a 97,9%) a A2 (eficiência 98 a 99,96%), e destinados a filtrar a fração ultrafina (menor que 1 micron) da poeira atmosférica.

Toda essa forma de classificar os filtros, preconizada pela NBR 6.401/1980, foi e ainda é utilizada tanto pelas demais normas brasileiras relativas ao ar-condicionado em vigor no país, em especial a Portaria 3523 do Ministério da Saúde, que trata do Regulamento Técnico para garantia da qualidade do ar interior e da manutenção dos sistemas de ar-condicionado, quanto pela RE ANVISA 009/2003, que trata dos padrões referenciais para manutenção da qualidade do ar interior no Brasil.

Além dessas normas, todo o mercado de fornecedores, técnicos, usuários, instaladores e docentes da área já tinham absorvido essa nomenclatura.

Entretanto, sem qualquer explicação que justificasse o incalculável custo de tal decisão, a ABNT NBR 16.401/2008 importou da norma ASHRAE 62.1-2004 uma denominação de filtros que mantém as classificações G1 a G3, mas que remete para graus de filtração totalmente diferentes dos anteriores, ou seja, o G3 da ABNT NBR 16.401/2008, por exemplo, não é o mesmo G3 da RE 009 ou da Norma ABNT NBR 6401/1980.

Se a nova norma não tivesse utilizado as letras A, G e F para classificar os filtros, com certeza o nível de confusão teria sido muito menor.

Dessa forma, o mercado tenta buscar, com pouco sucesso, uma equivalência entre os filtros anteriores e os atuais, mas os critérios de avaliação de ambos são oriundos de fontes diferentes.

Enquanto a norma ABNT NBR 6401/1980 adotava as diretrizes da SWKI 68-3, a norma ABNT NBR 16.401/2008 adota a norma europeia EN 779 (2002).

Com relação aos filtros, segundo a revista ABRAVA, “provavelmente este é o item mais polêmico de toda esta norma, por estabelecer valores mínimos de filtragem do ar e de aspectos construtivos dos equipamentos nem sempre atendidos nas instalações ou equipamentos”.

## **4.8 Sistemas de tratamento e distribuição do ar**

### **4.8.1 Casa de máquinas**

Em seu item 7.2, denominado “salas de máquinas de equipamentos de tratamento de ar”, a parte três da norma ABNT NBR 16.401/2008 dedica um espaço importante para as casas de máquinas.

Quando na elaboração da norma anterior, o assunto “qualidade do ar interior” era algo praticamente desconhecido no Brasil, haja vista que os padrões brasileiros de qualidade do ar interior só foram publicados em 2000.

Era de se esperar que a ABNT NBR 16.401/2008 já contemplasse tudo o que já tinha sido implantado na área de ar-condicionado pelo mercado e pelas instituições nacionais e estrangeiras acerca do assunto.

Os sistemas de ar condicionado que atendem às exigências da Portaria 3523/98 do Ministério da Saúde e da RE Anvisa 009/2003 devem, necessariamente, promover o tratamento do ar antes de enviá-lo para os ambientes ocupados, daí a importância da casa de máquinas, onde é feito esse processo.

O ar que é enviado para os ambientes condicionados é composto por ar externo e ar recirculado, oriundo do ambiente condicionado.

Para que esse ar recirculado seja devidamente misturado com o ar externo e enviado dentro dos níveis de qualidade exigidos pelos órgãos de controle, é necessário que o sistema de ar condicionado possua uma casa de máquinas composta pelos elementos dos subitens abaixo.

#### **4.8.1.1 Dispositivo para captação de ar exterior**

A ABNT NBR 16.401/2008 dedica grande importância à tomada de ar exterior, indicando os cuidados que devem ser tomados de acordo com cada local em que o ar é captado; e recomenda a “instalação de meio ou dispositivo para determinação inequívoca e simplificada da vazão de ar exterior, de forma a possibilitar a sua verificação a qualquer momento, de forma rápida, pela equipe de fiscalização ou manutenção”. Além disso, a nova norma ressalta os cuidados que devem ser observados para facilitar sua manutenção e proteção contra intempéries, insetos, pássaros e outros.

#### **4.8.1.2 Dispositivo de captação do ar de retorno**

A ABNT NBR 16.401/2008 recomenda explicitamente, em seu item 7.2.3, a instalação de registros tanto na tomada de ar externo quanto no retorno do ar recirculado, para garantir as vazões de projeto.

#### ***4.8.2 Rede de dutos***

Enquanto a norma antiga fazia poucas referências a detalhes construtivos das redes de dutos e praticamente concentrava todas as suas recomendações em dutos de chapas de aço galvanizado, a nova norma abre o leque para uma ampla variedade de tipos de dutos e dedica oito páginas a esse assunto.

São previstos dutos metálicos rígidos, dutos flexíveis fabricados com laminado de poliéster com alumínio ou outro polímero e dutos de materiais fibrosos, que podem ser utilizados exceto em instalações ao tempo, enterrados ou embutidos em concreto, em pressões superiores a 500 Pa, em colunas de mais de dois pavimentos, onde houver possibilidade de condensação.

Em seu item 10.2.2, recomenda que seja adotado o método de fricção constante já que, em seu item 10.2.3.2, que trata do outro método clássico (método de recuperação estática), informa que tal método “leva a dimensões excessivas de trechos de dutos e apresenta resultados incertos e não reduz a necessidade de dispositivos de regulação das vazões, não sendo recomendado seu uso”.

A norma cita também o método “T” de otimização e coloca tal método como facultativo em sistemas de grande porte, com alto custo dos dutos e consumo de energia dos ventiladores.

Segundo a revista ABRAVA 282, os dutos de ar também foram abordados na ABNT NBR 16.401/2008, que define a classe de pressão e a classe de vazamentos aceitável e exige que estas classes sejam indicadas nos desenhos. A norma também estipula que os dutos metálicos devem ser construídos de acordo com o manual da SMACNA HVAC Systems Duct Construction Standards e inclui uma tradução parcial, autorizada pela SMACNA Inc., das partes do manual que se referem aos dutos mais usuais, com dimensões até 1800 mm e classe de pressão até 500 Pa.

Na reportagem da revista, eles afirmam ainda que a classe de vazamento passou por uma evolução, principalmente no que se refere ao uso de sistemas como o TDC. Porém, ainda é evidente que este problema atinge grande parte das obras e necessita maior cuidado dos montadores uma vez que a contratação do projetista para fiscalização tem ocorrido com menor frequência.

Segundo outro projetista mencionado na revista, a utilização de dutos conforme a norma TDC (Transfer Function Method), permite a construção de rede de dutos com baixa taxa de vazamentos, porém alguns cuidados devem ser tomados, como aplicação de silicone nas juntas longitudinais, utilização de junta de borracha com largura suficiente para dar estancamento nos flanges TDC e respeitar o tamanho dos flanges TDC.

Além dos cuidados acima, os dutos deverão ser testados através de um equipamento próprio, e se os limites de vazamentos forem ultrapassados, os trechos de dutos deverão ser desmontados e retrabalhados. Nas conexões finais dos dutos com os elementos de distribuição, deverão ser tomadas medidas de redução do espaçamento entre parafusos, rebites e aplicação de silicone para reduzir o vazamento nesses pontos.

Segundo outro comentarista da revista:

a ABNT NBR 16.401/2008 foi um grande avanço tecnológico para o setor em relação à NBR 6.401 de 1980, porém constata-se que ainda não existe uma obrigatoriedade em grande parte dos cadernos de especificações no que tange à qualidade dos dutos bem como aos testes de estanqueidade que são um referendo quanto à qualidade das redes de distribuição do ar. (ABRAVA 282)

Com relação aos colarinhos, os comentários da edição 282 da revista ABRAVA foram bastante categóricos ao afirmarem que “o principal ponto de vazamento é na conexão do colarinho com as bocas de ar. Até o momento, para instalações de conforto, os projetistas tiveram conhecimento da realização de teste de vazamento na obra em raras ocasiões”.

A respeito desse aspecto, os profissionais comentam que “a abertura dos colarinhos sempre é feita manualmente na obra, o que gera imperfeições nas conexões e, posteriormente, vazamentos. De nada adianta a instalação da rede principal ser em TDC e estanque se os colarinhos forem feitos desta forma”.

Identifica-se aí, portanto, mais uma oportunidade de melhoria para a próxima edição da norma.

No que diz respeito às bocas de insuflação de ar (grelhas e difusores), ao analisar este aspecto da norma atual em relação à anterior, constata-se que a ABNT NBR 6.401/1980 não tratava desse aspecto da instalação com o nível de importância que ele merece.

A ABNT NBR 16.401/2008-1, no item 9, que é específico para esse assunto, recomenda que o tipo e a localização dos difusores e grelhas de insuflação, retorno e exaustão deve satisfazer às condições estipuladas na ABNT NBR 16.401-2 para os limites da velocidade média na zona ocupada e para as variações de temperatura admissíveis no recinto, e devem ser dotadas de dispositivos de regulação de vazão.

Nos itens 5.3 (limitações) e 5.4 (outras condições operacionais), a parte dois da norma apresenta mais orientações acerca desse importante assunto.

Esse maior cuidado da nova norma em relação aos dispositivos de difusão e regulação do ar em relação à anterior representa um ganho significativo em termos de conforto térmico.

#### **4.9 Carga térmica**

Se comparar os critérios para cálculo da carga térmica da NBR 6401/1980 com os critérios da ABNT NBR 16.401/2008, utilizando-se, por exemplo, o ambiente bancário como

base de comparação, observa-se alguns diferenciais entre a realidade de 1980 e a realidade atual, a começar por um dos principais componentes da carga térmica que é a vazão de ar externo.

#### **4.9.1 Vazão de ar externo**

A ABNT NBR 6401/1980 determinava que a vazão recomendável era determinada somente pela quantidade de pessoas no ambiente (17 m<sup>3</sup>/h/pessoa), mas a ABNT NBR 16.401/2008, que se baseou na norma ANSI/ASHRAE 62.1, leva em conta a vazão por pessoa, vazão por área útil ocupada, quantidade de pessoas por zona de ventilação e área útil ocupada pelas pessoas, conforme a fórmula (3) abaixo:

$V_{ef} = P_z \times F_p + A_z \times F_a$ , onde:

- $V_{ef}$ : Vazão eficaz de ar exterior (L/s).
- $F_p$ : Vazão por pessoa (L/s.pessoa).
- $F_a$ : Vazão por área útil ocupada (L/s.m<sup>2</sup>).
- $P_z$ : Número máximo de pessoas na zona de ventilação.
- $A_z$ : Área útil ocupada pelas pessoas (m<sup>2</sup>).

Ao contrário da norma anterior, que estabelecia dois níveis de filtragem, o recomendável e o mínimo, a nova norma estabelece 3 níveis: o nível 1 (nível mínimo de vazão de ar exterior para renovação); o nível 2 (nível intermediário); e o nível 3 (vazão de ar exterior para ventilação que, segundo estudos, existem evidências de redução de reclamações e manifestações alérgicas).

Outro aspecto interessante é que a norma anterior previa a existência ocasional de fumantes no ambiente e a norma atual é baseada na proibição de se fumar no ambiente condicionado.

#### **4.9.2 Adequação às regulamentações existentes**

A norma anterior foi editada antes da edição da RE ANVISA 176/2000, que foi a primeira regulamentação brasileira que tratou dos padrões referenciais de qualidade do ar interior e que, por isso, é previsível que a antiga norma não estivesse de acordo com aqueles padrões.

Por sua vez, a ABNT NBR 16.401/2008, que foi editada oito anos após, deveria estar em consonância com os padrões brasileiros relativos à qualidade do ar, contudo, isso não ocorre; e se faz evidente, no caso bancário, por exemplo, enquanto o item 3.4 da RE ANVISA 009/2003 estabelece taxa de renovação de ar de 27 m<sup>3</sup>/h por pessoa, a nova norma nos remete, pela fórmula (3) a valores bem inferiores aos da resolução.

#### **4.9.3 Atendimento às normas de eficiência energética**

Como a vazão de ar externo é responsável por aproximadamente 25% da carga térmica de uma edificação no Brasil, entende-se que a ABNT NBR 16.401/2008, em que pese a divergência com a RE ANVISA 009/2003, é mais razoável e caberia não a esta, mas àquela, ser revisada nesse aspecto, mesmo porque a ABNT NBR 16.401/2008 é respaldada pela norma ANSI/ASHRAE 62.1 e a RE ANVISA 009/2003 não parece ter fundamentação em qualquer critério científico.

Esse estabelecimento de vazões fixas para a tomada de ar exterior, considerando-se que a ocupação do imóvel varia ao longo do dia, implica em desperdício de energia elétrica naqueles momentos em que a ocupação do imóvel está aquém do projetado e, portanto, não demandaria a mesma vazão de ar externo, o que resultaria em economia de energia.

Conforme o RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade – do PROCEL EDIFICA (2010), referente ao nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, que concede etiquetas aos edifícios de acordo com os níveis de eficiência energética, desenvolvido por meio de um convênio entre LabBEEE da UFSC e a Eletrobrás (2011), os edifícios, para receberem a etiqueta, têm que atender a três requisitos, conforme subitens abaixo.

#### **4.9.3.1 Envoltória**

A construção é pontuada à medida que utiliza mais áreas sombreadas, reduz aberturas, aumenta espessura da parede, utiliza vidros especiais, utiliza tetos gramados, possui orientação solar adequada, dentre outros fatores.

#### **4.9.3.2 Iluminação**

Estabelece que devem ser utilizados sistemas de controle de iluminação que garantam o aproveitamento de iluminação externa, divisão de circuitos de modo a facilitar os desligamentos em caso de não utilização, utilização de lâmpadas e luminárias de alto rendimento, tipo lâmpadas com sistema de led, nível de iluminação conforme a norma (na faixa de 500 lux para escritórios).

#### **4.9.3.3 Condicionamento de ar**

Apenas com base naquilo que está estabelecido acima já podemos concluir a importância da participação do profissional de ar condicionado na busca da etiquetagem da edificação já que todos os fatores retromencionados são utilizados no cálculo da carga térmica.

Entretanto, o RTQ estabelece mais algumas exigências ou bonificações no caso de edifícios que possuam aparelhos de ar condicionado etiquetados com o selo PROCEL “A” de eficiência energética, nível de isolamento térmico das tubulações, sombreamento dos condensadores para que eles não recebam a incidência da luz solar, utilização de sensores de CO2 associados ao registro de tomada de ar exterior, isolamento do telhado, dentre outros.

#### **4.9.4 Utilização de sistemas de controle e automação para regulagem de vazão**

Se, por um lado, a ABNT NBR 16.401/2008 é mais razoável do que a RE 009, ao se levar em conta os mais modernos critérios de ecoeficiência e a existência de uma série de ferramentas de controle e automação não existentes à época da edição da norma ABNT NBR 6.401/80, ao projetar uma instalação, o profissional deve sim levar em conta a nova norma, mas não deve abrir mão de projetar um sistema automatizado de regulagem da vazão de ar exterior utilizando sensores de CO<sub>2</sub> associados a *dampers* motorizados para variar a vazão de ar externo de acordo com a ocupação do edifício, pois hoje em dia já não podemos mais conceber nem um ambiente que possua um nível de CO<sub>2</sub> acima do permitido nem um nível de CO<sub>2</sub> muito abaixo do permitido, já que isso denota vazão excessiva de ar exterior e, conseqüentemente, consumo elevado de energia elétrica.

A utilização de sistemas de automação predial se aplica também ao controle da iluminação, regulagem à distância de nível de ajuste da temperatura (set point), revezamento de máquinas, revezamento de bombas de água gelada e de condensação, variação da velocidade de bombas e compressores.

Apresenta as principais recomendações mínimas para um projeto, estabelecendo a utilização de protocolo de comunicação aberto, preferencialmente o BACNET ou MODBUS.

#### **4.9.5 Utilização de programas de computador para cálculo da carga térmica**

Ao contrário da norma ABNT NBR 6.401/1980, editada em uma época em que o uso de sistemas informatizados era incipiente, a ABNT NBR 16.401/2008, editada vinte e oito anos depois, recomenda a utilização de programas de computador para o cálculo da carga térmica.

Segundo a norma, o cálculo de carga térmica, exceto para sistemas muito simples, é inviável sem o auxílio de um programa de computador. O programa deve ser baseado nos métodos da ASHRAE (TFM – Transfer Function Method ou, preferivelmente, RTS – Radiant Time Series method) que remete, através das referências bibliográficas, para o capítulo 28 do ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS 1997 e para o capítulo 30 do ASHRAE

HANDBOOK FUNDAMENTALS 2005, ambos intitulados “non residential cooling and load calculations”.

Isso, por si só, já seria confuso, mas considerando que já foi publicado o ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS 2009 e que o seu capítulo dezoito trata justamente deste assunto, poder-se-ia considerar o seu inteiro conteúdo que estabelece que deve ser utilizado o RTS – Radiant Time Series Method e não o TFM.

Conforme consta à página 18.20 do ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS 2009, o RTS method “efetivamente substitui todos os outros métodos simplificados tais como o transfer function method (TFM), o *cooling load temperature difference/cooling load factor method* (CLTD/CLF) e o *total equivalent temperature difference/time averaging method* (TETD/TA)”.

Esse programa foi desenvolvido para oferecer um método que é rigoroso, não requer cálculos repetitivos e quantifica a contribuição de cada componente para a carga total de resfriamento. Além disso, ele é desejável para possibilitar ao usuário inspecionar e comparar os coeficientes para diferentes construções e tipos de zonas ilustrando os efeitos relativos em cada resultado.

Essas características do método RTS o tornam de fácil aplicação na engenharia durante o cálculo da carga térmica, embora não o tornem adequado para aplicações de simulação anual de uso de energia.

#### **4.9.6 Fontes internas de calor e umidade (anexo C)**

Esse anexo apresenta referências orientativas para elaboração de um cálculo correto da carga térmica interna.

Na tabela C.3 deverá ser melhor detalhado o consumo de monitores, separando os do tipo CRT daqueles do tipo LCD, pois isto não ficou claro.

Na tabela C.4 deverá ser incluído o consumo de impressoras do tipo jato de tinta.

#### 4.10 Divisão em módulos, utilização de inversores de frequência e automação

A ABNT NBR 16.401/2008 utiliza o termo “módulo” (item 7.1.2) para definir a quantidade de circuitos de refrigeração de cada máquina, quando recomenda que:

nos sistemas com grande variação de carga térmica (sazonal ou outra) deve se considerar a opção de subdividir o equipamento em módulos menores, que atendam às cargas reduzidas com melhor eficiência. Esta modulação contribui para a confiabilidade do sistema, pois a falha de um dos módulos não acarreta a paralisação total do sistema. (NBR 16.401,2008).

A norma anterior não fazia referência à quantidade de circuitos, e isso nos parece uma evolução. Entretanto, a norma poderia utilizar o termo recorrente no mercado, que é “circuito”, sem prejuízo da utilização adicional do termo “módulo” onde este couber.

É recomendável que todas as máquinas sejam divididas em circuitos menores, já que um dos fatores que determina a capacidade da máquina é a temperatura externa e sabe-se que, em qualquer país, há uma grande variação da temperatura externa ao longo dos dias, meses e estações. Além disso, essa mesma temperatura externa varia ao longo do dia e provoca cargas térmicas diferentes até mesmo para perfis de ocupação constantes. No mais, a insolação também varia ao longo do dia, de acordo com a orientação solar, afetando a envoltória e a necessidade demanda pelo sistema de climatização ao longo do dia. Por sua vez, os ambientes, em sua maioria, também estão sujeitos a uma variação do nível de ocupação ao longo do dia, o que promove mais um fator para se subdividir o sistema em circuitos.

No caso de utilização de sistemas com condensação a água, a influência da variação da temperatura externa ao longo do dia não causa tanto impacto quanto no caso de sistemas com condensação a ar.

A utilização dos modernos compressores com inversor de frequência e também a utilização de inversores de frequência nos ventiladores dos condensadores, com o auxílio da automação, representam solução ainda melhor do que a subdivisão em pequenos circuitos, já que evita que a máquina fique ligando e desligando (ciclado), o que provoca o aquecimento do verniz dos motores devido às altas correntes instantâneas, alto consumo e queima de motores.

O uso do inversor de frequência nos compressores ao invés do sistema “on” “off” também permite a obtenção de uma temperatura uniforme nos ambientes condicionados

durante todo o tempo. Dentro dessa ótica, a ABNT NBR 16.401/2008 sugere que sejam adotados:

- Seleção de equipamentos de alta eficiência tanto a plena carga quanto em carga reduzida;
- Dispositivos de controle e gerenciamento que regulem a capacidade do sistema em função da carga efetivamente existente e mantenham em operação apenas os equipamentos mínimos necessários;
- Distribuição de ar e água em vazão variável, que minimize a energia absorvida por ventiladores e bombas;
- Recuperação do calor rejeitado no ar de exaustão ou nos condensadores;
- Aproveitamento de condições externas favoráveis (controle entálpico da vazão de ar exterior, resfriamento noturno dos ambientes);
- Termoacumulação, que reduz a demanda elétrica (no horário de pico o compressor fica desligado) e o custo da energia elétrica;
- Refrigeração por absorção, que possibilite o aproveitamento da energia calorífica rejeitada;
- Aproveitamento da energia solar.

#### **4.11 Nível de ruído**

Apesar da importância de se observar o nível de ruído em uma instalação de ar condicionado, a norma ABNT NBR 6401/80 só estabelecia, em seu item 2.2.5, que “os níveis de ruído permissíveis, decorrentes da instalação de condicionamento de ar, na falta de informações, estão indicados na tabela 5...”. Esta tabela estabelecia os vários níveis de ruído de acordo com o tipo de ambiente.

Já a norma ABNT NBR 16.401/2008 vai mais a fundo no tema e recomenda, em seu item 7.4, que “os ruídos decorrentes da operação do sistema de ar-condicionado devem ser considerados sob os seguintes aspectos: ruído nos ambientes internos à edificação, ruído transmitido à vizinhança e ruído nas salas de máquinas do sistema”.

Nos ambientes internos, devem ser estabelecidos os níveis máximos de ruído nos termos da ABNT NBR 10.152. Para ambientes críticos, como estúdios de gravação, salas de concerto e teatros, os níveis de ruído e os critérios acústicos devem ser definidos pelo projetista de acústica do ambiente.

Nas vizinhanças da edificação, os níveis de ruído não devem ultrapassar os valores da ABNT NBR 10.151. Por sua vez, o ruído no interior da casa de máquinas ao qual o operador estiver exposto deve obedecer ao estipulado na NR-15 do Ministério de Trabalho.

Como a legislação municipal acerca dos níveis de ruído prevalece sobre a legislação federal, a ABNT NBR 16.401/2008 estabelece, de forma prudente, que “devem prevalecer às exigências que constam em regulamentos e legislações vigentes (federais, estaduais ou municipais) na época de elaboração do projeto, sempre que mais restritivas que o estipulado nesta parte da ABNT NBR 16.401/2008.

Em que pese estar a norma atual mais adequada do que a anterior, ela deixa a desejar por não relacionar os vários tipos de equipamentos e o seu respectivo impacto em termos de nível de ruído para o interior do sistema e também para a vizinhança.

É sabido que sistemas de ar condicionado podem ser do tipo integrado, do tipo dividido com a unidade com maior nível de ruído do lado interno, do tipo dividido com a unidade com o maior nível de ruído do lado externo, além de sistemas do tipo chiller, sem contar as torres de resfriamento.

Nos casos em que a vizinhança é basicamente do tipo residencial, deve-se evitar a colocação de unidades com alto nível de ruído e sem o adequado tratamento acústico no ambiente externo.

Em caso de vizinhança em ambiente comercial e com funcionamento do sistema somente no horário também comercial, já podemos ter sistemas com nível de ruído mais elevado externamente.

No caso de chiller e torre de resfriamento, devido ao elevado nível de ruído, isso teria que ser ainda mais discutido na norma.

#### **4.12 Instalação elétrica**

A nova norma determinou que as instalações elétricas assegurassem a possibilidade de que o consumo de energia elétrica exclusivo do ar condicionado possa ser monitorado individualmente a partir de um ponto só.

Considerando que o sistema de ar condicionado é responsável pela maior parcela de consumo de energia na maioria das edificações comerciais e que hoje a eficiência energética é algo que tem que ser buscado incessantemente, isso representou uma grande evolução na norma.

#### **4.13 Testes, ajustes e balanceamento (TAB)**

A revista ABRAVA 282 destacou uma evolução no item de ensaios e aprovação da primeira parte da ABNT NBR 16.401/2008, que exige a previsão no projeto da realização de um processo planejado e documentado de inspeções, ensaios, ajustes e regulagens (TAB) antes do uso operacional das instalações.

A revista recomenda que este processo seja realizado de acordo com as normas SMACNA, por entidade independente do instalador, e ainda estipula que o projeto deve prever e mostrar nos desenhos os pontos e os meios para permitir as medições e os ajustes requeridos.

#### **4.14 Definição do tipo de retorno do ar**

O item 6.2.2.2 (iluminação) da ABNT NBR 16.401/2008-1, prevê a possibilidade de se fazer o retorno do ar pelo entreferro.

Contudo, é sabido que quando o retorno do ar se dá pelo entreferro, e, portanto, sem utilização de rede de dutos, a carga térmica será maior.

A norma não apresenta uma recomendação no sentido de que todo o retorno dos sistemas de ar condicionado seja feito por meio de dutos de retorno, o que implicaria em uma

menor carga térmica, em menor contaminação do ar e em facilidade para limpeza do sistema de ar condicionado, já que é praticamente impossível fazer a limpeza em sistemas de ar condicionado de forma eficiente e completa quando existe ar retornando a plenum pelo entreferro.

Logo, a ausência dessa recomendação vai de encontro às outras orientações no que tange à melhoria da qualidade do ar interno.

#### **4.15 Definição de sistema de ar-condicionado central**

A definição da norma do que é e do que não é sistema central está muito confusa. Ela leva em conta o lado do circuito de refrigeração e não o lado do circuito do ar. Ela inclui VRF como sendo sistema central mesmo não tendo esse sistema, muitas vezes, um mecanismo de renovação de ar nem de filtragem adequada.

Por outro lado, uma instalação composta por Self ou Splitão com rede de dutos, casas de máquinas, filtragem adequada, difusores, grelhas e registros, e que, portanto, atende a todas as normas de IAQ, está classificada como sistema unitário; ou seja, a norma a coloca na mesma classificação de sistemas constituídos de um simples ACJ, que não atende a nenhuma norma que exija respeito às práticas de IAQ.

A antiga ABNT NBR 6401, cujo título é “Instalações Centrais de ar-condicionado para conforto”, não tratava de outros sistemas a não ser sistemas centrais, contudo, estabeleceu, em seu item 6, que, dentre os sistemas centrais, existem os de evaporação direta (item 6.1.1) e os de evaporação indireta (item 6.1.2).

Já a nova norma ABNT NBR 16.401/2008 considerou como sistema central, por exemplo, todos os VRF, que não possuem casa de máquinas nem filtragem adequada. Ao mesmo tempo, a norma retirou de sistemas compostos por Self, Splitão, Roof top e Self com condensador remoto, dotados de rede de dutos, filtros, casas de máquinas, potência para vencer pressões estáticas de redes de dutos e acessórios o “status” de sistemas centrais.

A própria RE ANVISA 009/2003 quando cita, em seu item 3.5, que:

a utilização de filtros de classe G1 é obrigatória na captação de ar exterior e o grau de pureza do ar nos ambientes climatizados será obtido utilizando-se, no mínimo, filtros classe G3 nos condicionadores de sistemas centrais, minimizando o acúmulo

de sujidades nos dutos, assim como reduzindo os níveis de material particulado no ar insuflado (RE ANVISA 009, 2003).

Demonstra que ela própria considera que os equipamentos ora designados como “autônomos” pela ABNT NBR 16.401/2008, na verdade são sistemas centrais se levado em conta o trajeto do ar.

A norma estabelece que os condicionadores autônomos (item 3.5 da norma) fazem parte daquilo que ela denominou como “sistema de ar-condicionado unitário” (item 3.3). Contudo, se os condicionadores autônomos fazem parte dos sistemas unitários, então eles deveriam estar relacionados na norma como subitens do item 3.3 e não como um item independente.

A classificação dos equipamentos e sistemas ficaria mais simples e bem definida se observasse a ordem estabelecida na tabela abaixo.

TABELA 2  
Proposta para nova classificação dos sistemas de ar-condicionado

SISTEMAS DE AR CONDICIONADO								
CENTRAIS						UNITÁRIOS		
RESFRIADORES DE LÍQUIDOS (CHILLERS) DOTADOS DE FAN COILS	SELF COM COND INCORP	SELF COM COND REMOTO	SPLITÃO	VRF COM REDE DE DUTOS	ROOFTOP COM REDE DE DUTOS	ACJ	MINISPLITS	VRF SEM REDE DE DUTOS

Fonte: Dados do autor

Os sistemas de ar-condicionado centrais estão relacionados no item 3.2 da norma, ou seja, espera-se que todos os equipamentos que pertencem aos sistemas centrais estejam elencados como subitens do item 3.2. Entretanto, a norma relaciona, no item 3.4, a unidade de tratamento do ar, que faz parte do sistema que ela mesma designou como sistema central em 3.2.1. Esse equipamento deveria ser um subitem do item 3.2.

#### **4.16 Aspectos gerais e específicos**

Conforme Mariani e Bueno (2011), se a norma anterior aplicava-se apenas a sistemas centrais, a nova norma se aplica também a sistemas unitários que tenham capacidade acima de 10 KW.

A norma apresenta diretrizes não apenas para o projeto, como era a norma anterior, mas para as atividades de instalação e de testes, verificando a operação do sistema de ar-condicionado.

O texto também está significativamente ampliado em termos de conteúdo, abordando assuntos que não estavam contemplados na edição anterior como, por exemplo, procedimentos de elaboração e documentação do projeto, distribuição do ar analisada detalhadamente, especificações construtivas detalhadas para dutos metálicos, ensaios de aprovação da instalação, qualidade do ar interior e parâmetros para caracterizar o conforto térmico.

A norma está dividida em três partes, enfocando temas específicos, porém que estão relacionados, como projeto, conforto térmico e qualidade do ar interior.

Foram adotadas referências normativas internacionais importantes, colocando a norma brasileira em sintonia com o que está sendo utilizado em outras partes do mundo, podendo-se destacar a contribuição da ASHRAE e da SMACNA neste contexto.

Quanto aos aspectos específicos, podemos destacar ainda o novo método e valores para se determinar as vazões de ar externo para renovação dos ambientes, os novos parâmetros de filtragem, a necessidade de que mesmo instalações dotadas de ACJ ou Splits possuam renovação do ar e filtragem adequada.

#### **4.17 Aspectos específicos da parte um (projetos das instalações)**

##### ***4.17.1 Procedimento de elaboração e documentação do projeto (item quatro)***

Apresenta procedimentos para conceber o projeto de uma instalação em seus vários aspectos, adotando como referência a norma ABNT NBR 13.531 (1995).

Estes procedimentos são fundamentais para definir o que deverá ser elaborado como projeto, estabelecendo um nível mínimo de documentação e de responsabilidades entre as partes.

#### ***4.17.2 Condições climáticas e termoigrométricas de projeto (item cinco)***

Destaca-se o conjunto de dados climáticos apresentados no anexo A, baseado no ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS (2005).

Estes dados podem ser utilizados para dimensionar os vários tipos de processos que podem estar relacionados a instalações de ar-condicionado, aquecimento, ventilação e refrigeração, como resfriamento, umidificação, desumidificação, aquecimento, dentre outros.

Os dados climáticos são apresentados correlacionados, com valores máximos coincidentes, além dos extremos anuais, com resultados de tratamentos estatísticos.

#### ***4.17.3 Critérios de projeto do sistema (item sete)***

Considera fatores novos além do controle do ruído, como qualidade do ar interior (remetendo para a parte três da norma), conservação de energia (tópico introduzido nessa edição), vibrações (este tópico apenas indica que deve haver uso de dispositivos para limitar vibrações e também foi introduzido nessa edição), prevenção de incêndio (introduzido nessa edição).

#### ***4.17.4 Critérios de seleção - componentes principais e meios de difusão de ar (itens 8 e 9)***

Apresenta as principais recomendações para uma boa seleção desses componentes.

#### **4.17.5 Projeto de distribuição do ar (item dez)**

Apresenta as principais recomendações para uma boa seleção.

Excelente detalhamento quanto a formas de dimensionamento, classes de pressão, e classes de vazamento.

Apresenta orientações quanto aos acessórios de distribuição, balanceamento e proteção e também quanto à isolamento térmica e ao nível de ruído.

#### **4.17.6 Linhas frigoríficas (item treze)**

Este item da norma nos remete às especificações dos fabricantes e ao ASHRAE HANDBOOK REFRIGERATION (2006), mas deveria ser mais completo, inclusive informando as conseqüências de redução de capacidade em função da perda de carga em um projeto.

#### **4.17.7 Dados climáticos (anexo A)**

Esse anexo ficou bem detalhado, com informações para o levantamento do perfil diário a partir de dados de aeroportos situados em oito cidades da região norte, dez cidades da região nordeste, cinco cidades da região centro-oeste, nove cidades da região sudeste e cinco cidades da região sul.

#### **4.17.8 Bibliografia**

A bibliografia apresentada à página sessenta, quase toda de origem da ASHRAE, com uma referência à ABNT NBR 15.220-3 (2005) e outra à SMACNA (2003), deve ser

considerada obrigatória para aqueles que desejam aprofundar-se e obter um maior detalhamento das informações apresentadas naquela norma.

#### **4.18 Aspectos específicos da parte dois (Parâmetros de conforto térmico)**

##### ***4.18.1 Fatores que afetam o conforto térmico (item três)***

Em seu item três, a norma apresenta com detalhes o uso do parâmetro “met”, que avalia a taxa de metabolismo, e do parâmetro “clo”, que considera a influência da roupa.

##### ***4.18.2 Avaliação das condições de conforto térmico (item quatro)***

No item quatro, a norma apresenta informações mínimas de conforto em escala numérica.

##### ***4.18.3 Parâmetros de conforto (item cinco)***

Apresenta no item cinco, um detalhamento da influência da assimetria no conforto térmico e também das roupas e da velocidade do ar.

##### ***4.18.4 Avaliação e controle (item seis)***

O item seis foi introduzido nessa versão da norma e veio bem detalhado, com informações sobre o ponto de medição, instrumentação, necessidade de calibração.

Além disso, no item 6.3.3 é apresentada uma forma de cálculo da temperatura operativa, conceito introduzido no item anterior.

#### **4.18.5 Bibliografia**

A bibliografia apresentada à página sete desta parte da norma deve ser considerada obrigatória para aqueles que desejam aprofundar-se e obter um maior detalhamento das informações apresentadas e é baseada no ASHRAE Handbook Fundamentals 2005, já substituído pela versão de 2009, daí ser este mais um aspecto passível de revisão na próxima oportunidade.

### **4.19 Aspectos específicos da parte três (Qualidade do ar interior)**

Esta parte é, provavelmente, a parte mais polêmica de toda a norma, por estabelecer valores mínimos para filtragem do ar e para aspectos construtivos dos equipamentos que nem sempre são atendidos nas instalações ou nos equipamentos, conforme detalhado a seguir.

#### **4.19.1 Condições gerais (item quatro)**

Destacam-se neste item as orientações no sentido de se considerar o sistema de ar condicionado como um todo e não somente parte deles, quando a norma estabelece que “para se garantir a qualidade do ar em ambientes de interiores é preciso observar o sistema de condicionamento do ar de modo sistêmico e não de modo pontual”.

Esse item destaca também a importância da manutenção quando, em seu item 4.3, estabelece que “as atividades de manutenção em sistemas de condicionamento de ar são essenciais visando à conservação e o rendimento dos equipamentos, mas também ao padrão higiênico mínimo das instalações”.

#### **4.19.2 Ventilação (item cinco)**

Nesse item é apresentado um cálculo da vazão de ar levando em consideração a aplicação, a quantidade de pessoas e a área, com o uso de fatores de correção em função da eficiência da insuflação e da exaustão de ar.

Os três níveis de fatores de pessoas e de áreas apresentados permitem uma melhor orientação do projetista e do empreendedor.

Consta desse item também instruções para cálculo da vazão de ar necessária para sistemas de múltiplas zonas com vazão de ar variável, obrigatório para assegurar a qualidade do ar em cada um dos ambientes.

#### **4.19.3 Filtragem (item seis)**

Esse item traz várias novidades e pode ser motivo de debates, mas que indica uma evolução para assegurar a qualidade do ar aos ocupantes. Ele impõe o uso de valores mínimos de filtragem nos projetos, requer dos fabricantes a revisão de determinados equipamentos e solicita às empresas de controle da operação e de manutenção maior rigor em seus procedimentos.

Abrange somente os filtros grossos e finos com uma numeração seqüencial de G1 a G4 e de F5 a F9.

Estabelece o G3 como o nível mínimo de filtragem para equipamentos de pequeno porte, desde que a filtragem do ar externo atenda o nível mínimo classe G4.

Para aplicações em supermercados, hotéis, apartamentos, lanchonetes e ginásios de esportes, estabelece o nível G4 como o mínimo.

Já para escritórios, aeroportos, bibliotecas, museus, áreas de uso público, hotéis categoria três estrelas ou acima, restaurantes e bares, estabelece como mínimo o nível F5.

Para outras aplicações, estabelece níveis ainda mais altos de filtragem.

Foram introduzidas recomendações para as tomadas de ar exterior.

Para as salas de máquinas de tratamento de ar, essa norma estabeleceu excelentes recomendações de projeto.

#### **4.19.4 Unidades de tratamento de ar (item sete)**

Esse item traz novas e importantes exigências para assegurar a qualidade do ar aos ocupantes. Há itens que exigem dos fabricantes a revisão do projeto de determinados equipamentos e também exige um maior rigor das empresas de controle da operação e da manutenção dos sistemas.

Dentre as exigências, pode-se destacar a obrigatoriedade de paredes duplas dos painéis, estanqueidade do gabinete, bandeja de condensado com caimento e material de baixa corrosão (aço inoxidável, por exemplo), dimensionamento da tubulação de escoamento da água condensada, acesso para limpeza dos ventiladores.

Quanto às serpentinas de resfriamento de ar, para aquelas com três filas, deverá haver no máximo 480 aletas por metro (ou 17 aletas por polegada), o número de filas máximo é estabelecido em seis, para permitir o acesso para limpeza.

A velocidade média máxima das serpentinas é estabelecida em 2,7 m/s e a velocidade máxima local em 3,2 m/s.

Quanto aos umidificadores, ficou proibido o uso daqueles com bandejas aquecidas e tornou-se obrigatório o uso de materiais de baixa corrosão, como o aço inox ou o cobre.

Sobre os dutos e acessórios, estabeleceu-se que eles devem ser acessíveis internamente e compatíveis com as modernas exigências para serviços de limpeza.

Os atenuadores de ruído deverão ser à prova de erosão.

#### **4.19.5 Requisitos de manutenção relativos à qualidade do ar (item oito)**

Essa norma atribui grande foco à qualidade do ar em suas diretrizes. No item 8.2 ela estabelece que as atividades de manutenção devem ser executadas de acordo com o prescrito nas normas ABNT NBR 13.971 (1999) e ABNT NBR 14.679 (2001) e também obedecendo à Portaria 3523 (2008) do Ministério da Saúde.

Como a norma ABNT NBR 14.679 (2001) está em processo final de revisão em 2011 e a norma ABNT NBR 13.971 (1999) está bastante desatualizada, o mesmo ocorrendo com a

Portaria 3523 do Ministério da Saúde (1998), é recomendável que a próxima revisão desta norma já contemple a atualização destes três dispositivos legais.

#### **4.19.6 Anexos A, B, C e D**

Nesta parte da norma é apresentada uma ferramenta para avaliação da qualidade do ar interior na forma de um questionário (anexo A).

Já no anexo B, consta a tabela B.1 onde são estabelecidos os limites de concentração máxima de alguns poluentes do ambiente interior e, nessa tabela, faz-se relevante destacar o limite estabelecido para a concentração de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) em 3.500 ppm, enquanto a RE Anvisa 009/2003 estabelece o limite de 1000 ppm. Nesse aspecto, evidencia-se que ambas as normas deverão ser revisadas, primeiro não estabelecendo um limite fixo, mas proporcional ao nível de CO<sub>2</sub> do ar exterior, para esse parâmetro; segundo, não estabelecendo um limite tão elevado (3.500 ppm da ABNT NBR 16.401/2008) nem tão baixo (1.000 ppm da RE Anvisa 009).

No anexo C, o aspecto “nível de CO<sub>2</sub>” já é tratado de uma forma mais científica o que reforça a necessidade, citada no item anterior, de não se estabelecer valores fixos para esse parâmetro.

Ainda nesse anexo, são feitas considerações sobre a relação entre o nível de CO<sub>2</sub> e a taxa de ar exterior e também, na parte C.3, sobre a relação entre o nível interno e o nível externo.

No anexo D, a norma apresenta um exemplo de cálculo da vazão de ar exterior para nortear o trabalho dos profissionais da área, o que representou uma grande contribuição para os usuários.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA UM PRÓXIMO TRABALHO**

No presente estudo foram fomentados diversos fatores que exigiam que o Brasil revisasse a sua norma relativa à área de ar-condicionado, como: a introdução maciça dos sistemas de automação predial, a descoberta de novas tecnologias, a necessidade cada vez maior de se cuidar da saúde e do bem estar dos usuários, a busca incessante de eficiência energética e a clara defasagem de todas as normas brasileiras em relação às normas internacionais.

E assim foi feito, da norma ABNT NBR-6401/1980 chegou-se à ABNT NBR 16.401/2008, o que melhorou consideravelmente o contexto normativo relativo à área de ar-condicionado no Brasil.

Contudo, pelo que se fez revelar nas análises desta dissertação ainda há questões que precisam de uma melhor reavaliação na ABNT NBR 16.401/2008. Questões essas que, conforme fomentadas nesse estudo, se forem apreciadas e implementadas, contribuirão de forma significativa para que o país possa dotar-se de uma excelente norma destinada à área de ar-condicionado, conforto térmico e qualidade do ar interior. O que, conseqüentemente, atenderá ainda melhor às exigências e às expectativas do mercado de refrigeração e ar-condicionado brasileiro.

Nessa perspectiva, apresenta-se o levantamento das questões a serem apreciadas e implementadas à norma ABNT NBR 16.401/2008.

### **5.1 Atualizações periódicas**

Assim como acontecem com outras normas, recomenda-se que a ABNT NBR 16.401/2008, ainda que não seja revisada em intervalos mais curtos, receba anualmente os adendos que serão incorporados à mesma quando da próxima revisão, em especial naquelas partes em que ela se baseou em outra norma que tenha sido objeto de adendos.

As normas da ASHRAE que serviram como referência para elaboração da ABNT NBR 16.401/2008, por exemplo, são atualizadas a cada três anos e incorporam os adendos que são publicados durante o período de validade da norma. Estes adendos, quando publicados, já valem como norma técnica.

## **5.2 Revisão ortográfica**

A norma possui alguns erros de Português (gramática, concordância, pontuação) e uma inadequada formatação das páginas, carecendo, portanto, de uma revisão nesse aspecto.

## **5.3 Filtragem**

Em que pese sua evolução nos níveis de exigência em relação à qualidade dos dispositivos de filtragem do ar, a ABNT NBR 16.401/2008 deveria rever a adoção imediata de suas recomendações em relação à filtragem, já que tais recomendações vão de encontro à RE 009, até que a ANVISA adote os preceitos da nova norma, se isso acontecer. A ABNT deveria também fazer gestões junto ao Ministério da Saúde para alinhar os termos e procedimentos recomendados pela ANVISA com os da ABNT e do Ministério da Saúde, autor da Portaria 3523.

## **5.4 Definição clara de seu objetivo**

Ao contrário da ABNT NBR 6401/1980, que estabelece em seu item “um” quais são seus objetivos e, no item 2.1-d, estabelece que um dos objetivos é controlar o grau de pureza do ar, a ABNT NBR 16.401/2008 não estabelece qual é seu objetivo.

## **5.5 Definição de sistema de ar condicionado central**

Os sistemas de ar-condicionado compostos por condicionadores encerrados em casas de máquinas dotadas de renovação de ar, filtragem adequada, sistema de retorno e redes de dutos deveriam ser considerados sistemas de ar-condicionado centrais, independentemente de

qual máquina esteja instalada na casa de máquinas, seja ela um Chiller, um Self, um Fan Coil, um Splitão ou qualquer outro.

Já os sistemas que promovem a insuflação do ar a “plenum”, ou seja, sem rede de dutos, sem casas de máquinas, sem renovação de ar, sem filtragem adequada, quaisquer que sejam as classificações que queiram adotar, deveriam ser considerados sistemas unitários.

Portanto, é necessário rever a classificação dos sistemas de ar condicionado centrais e unitários e é sugerido que isso seja feito conforme TABELA 2 do item 4.15.

## **5.6 Definição de circuitos**

Alterar a definição de “módulos”, substituindo-a por “circuitos”, conforme item 4.10. No mínimo, deveria ser mantido módulo, mas desde que acrescentada também a denominação “circuito”, que é um termo mais usual pelos profissionais de mercado.

## **5.7 Torres de resfriamento**

É recomendável que, ainda que se trate de uma tecnologia recente, a revisão da norma trate com maior atenção a utilização de torres de resfriamento em circuito fechado, já que, em termos ambientais, pode ser uma solução adequada.

## **5.8 Outras recomendações para revisão e aperfeiçoamento da norma**

Faz-se relevante também que todas as discussões apresentadas no item quatro (discussão e análise crítica) desse estudo sejam analisadas pelo CB-55 da ABNT para que, no caso de aquele comitê entender que as sugestões procedem, elas sejam incorporadas à próxima versão da norma.

Conforme as reflexões fomentadas nesta análise, se faz necessário também priorizar a revisão da parte de filtragem, já que os fabricantes de equipamentos do tipo Minisplit e ACJ não conseguem atender às exigências da norma.

É aconselhável que a norma abra também a possibilidade de utilização de planilhas de cálculo simplificado da carga térmica para ambientes onde serão instalados Minisplits e ACJs, como era o caso da ABNT NBR 5858, que foi cancelada.

## **5.9 Sugestões para os próximos trabalhos**

Como este trabalho foi muito amplo, recomenda-se que sejam feitas análises críticas específicas para cada parte da norma, já que isso poderá assegurar um conhecimento mais detalhado de cada assunto.

É recomendável também que seja feito um trabalho voltado especificamente para a manutenção de sistemas de ar condicionado levando em conta as normas mais atuais referentes ao assunto, inclusive a norma ABNT NBR 16.401/2008, em especial a sua parte três, que trata da qualidade do ar interior.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401**: instalações centrais de ar-condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442**: materiais de construção - determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.531**: elaboração de projetos de edificações – atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.971**: sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação – manutenção programada. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.679**: sistemas de condicionamento de ar e ventilação – execução de serviços de higienização. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3**: desempenho térmico de edificações, zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401**: instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários - parte 1 (projetos das instalações), parte 2 (parâmetros de conforto térmico) e parte 3 (qualidade do ar interior). Rio de Janeiro, 2008.

AIR-CONDITIONING HEATING AND REFRIGERATION INSTITUTE. AHRI STANDARD **550/590**: performance rating of water chilling packages using the vapor compression cycle, USA, 2003.

ALFREDO, José Carlos. Treinamento Caixa Econômica Federal, 1995.

ALFREDO, José Carlos. Treinamento Caixa Econômica Federal, 1999.

ALFREDO, José Carlos. **Apostila:** treinamento Caixa Econômica Federal, 2007.

ANSI/ASHRAE STANDARD **62.1**: ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Inc, 2004.

ANSI/ASHRAE STANDARD **62.1**: ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Inc, 2007.

ANSI/ASHRAE STANDARD **62.1**: ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Inc, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RESOLUÇÃO 176**. ANVISA, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RESOLUÇÃO 9**. ANVISA, 2003.

ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers**. Inc, 2005.

ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers**. Inc, 2009.

ASHRAE HANDBOOK REFRIGERATION. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers**. Inc, 2006.

ASHRAE/ASHE STANDARD **170**: ventilation for health care facilities. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Inc, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **REVISTA 282**, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **REVISTA 283**, 2010.

ASTM **E-662**: standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials, 2006.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar-condicionado**. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 4ª ed., 1990.

EN **779: particulate Air Filters for General Ventilation** - determination of the filtration performance. Norma Européia, 2002.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <[www.labee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem](http://www.labee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem)> Acesso em: 10 set. 2011.

LEIRIA, Luiz Emilson. **Revista Climatização e Refrigeração**. NTE Editorial, 2004.

MARIANI, Antônio Luís de Campos; BUENO, Oswaldo Siqueira de. **Análise e destaques da nova norma brasileira para instalações de ar-condicionado**. No prelo, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA 3523**, 1998.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-15**: norma regulamentadora, atividades e operações insalubres. MTE, 2011.

OLIVEIRA, Sidney. **Panorama do mercado brasileiro de refrigeração e ar-condicionado**. No prelo, 2011.

PROCEL EDIFICA. **RTQ**: regulamento técnico da qualidade. INMETRO, set. 2010.

SMACNA. **TAB Procedural Guide**: sheet metal and air-conditioning contractors association. Inc, 2003.