

FULVIO VITTORINO

**SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DE INSTALAÇÕES
DE AR CONDICIONADO EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS E
SIMILARES SOB A ÓPTICA DO USUÁRIO.**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

São Paulo
Junho
2001

FULVIO VITTORINO

**SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DE INSTALAÇÕES
DE AR CONDICIONADO EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS E
SIMILARES SOB A ÓPTICA DO USUÁRIO.**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta

2001

Aos meus queridos pais, como um singelo
agradecimento por tudo, que é tão
inestimável, que já fizeram por mim.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta pela orientação firme, conselhos seguros e apoio contínuo, que superaram, em muito as expectativas de qualquer orientado.

- Aos colegas do IPT que muito contribuíram para a realização deste trabalho e, especialmente aos mais experientes, que têm sido exemplos de conduta a serem seguidos.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACCA - Air Conditioning Contractors of America

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI – American National Standards Institute

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

ASHRAE – American Society for Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers

ASHVE - American Society of Heating and Ventilating Engineers

ASTM – American Society for Testing and Materials

BRE - Building Research Establishment

CABO - Council of American Building Officials, atualmente incorporado ao International Code Council (ICC),

CFC - clorofluorcarbono

CIB – Conceil International du Batiment

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP – Coefficient of performance

CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

DOE – Department of Energy

EER – Energy efficiency ratio

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

FP - Fator de ponderação do critério “i” (valores entre 0 e 1);

HCFC hidrofluorcarbono

i - taxa de juros/inflação tomada para o cálculo;

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IESNA – Illuminating Engineering Society of North America

ISO – International Organization for Standardization

IVA – Porcentagem de pessoas insatisfeitas com a elevada velocidade do ar

JICA – Japan International Cooperation Agency

LCC - life cycle cost – LCC

NBR – Norma Brasileira Técnica Brasileira Registrada no INMETRO

NR – Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho

PDO – Potencial de Destruição da camada de Ozônio

PMOC - Plano de Manutenção, Operação e Controle

PPI – Porcentagem de pessoas insatisfeitas com a sensação térmica devido ao corpo todo

ppm - partes por milhão

PT - Pontuação técnica do critério “i” (valores normalizados para todos os critérios);

P_t - pagamento realizado na data t (pagamentos negativos e recebimentos positivos).

SED – Síndrome dos Edifícios Doentes

SMACANA - Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association

t - ordem da data de pagamento;

TA - Temperatura de bulbo seco do Ar (°C);

TBS – Temperatura de Bulbo Seco

TR – Tonelada de Refrigeração

Tu - intensidade da turbulência do ar (%), dada pela relação do desvio padrão da velocidade do ar sobre o seu valor médio, medidos com anemômetros de fio quente, conforme Norma ANSI/ASHRAE 55/95.

UR – Umidade Relativa

UV – Ultravioleta

v - velocidade do ar (m/s);

VAV – Volume de ar variável

VME – Voto médio estimado

VPL - Valor presente líquido

Δt - duração do período (em horas) em que $|VME_{real}| > |VME_{limite}|$

- Página 2, segundo parágrafo:

Onde se lê:

...“Somando-se a estes fatores, tem-se as condições climáticas reinantes no território nacional, que segundo AKUTSU (1998), **obrigam o uso de sistemas de condicionamento ambiental (aquecimento e/ou resfriamento), em 88% do país, caso se deseje condições satisfatórias de conforto térmico durante o dia todo.**” ...

Leia-se:

...“Somando-se a estes fatores, tem-se as condições climáticas reinantes no território nacional, que segundo AKUTSU (1998), **dispensam totalmente o uso de sistemas de condicionamento de ar somente em 12% do país, caso se deseje condições satisfatórias de conforto térmico durante o dia todo**” ...

- Página 3, parágrafo único:

Onde se lê:

.... “Fazendo-se uma análise com base no Balanço Energético Nacional de 1999 (disponível para download no site do Ministério das Minas e Energia - www.mme.gov.br), **tomando-se como sendo de 40% do total de eletricidade consumido pelo setor terciário devido ao sistema de ar condicionado, chegamos a valores da ordem de 5,5% em relação ao consumo de eletricidade do país (o dobro do que deve ser economizado com a adoção do horário de verão) e de 2,1% de toda a energia consumida na nação.** – Base 1998.

Leia-se:

.... “Fazendo-se uma análise com base no Balanço Energético Nacional de 1999 (disponível para download no site do Ministério das Minas e Energia - www.mme.gov.br), **tomando-se como sendo de 20% do total de eletricidade consumido pelo setor terciário devido ao sistema de ar condicionado, chegamos a valores da ordem de 2,8% em relação ao consumo de eletricidade do país (aproximadamente o que deve ser economizado com a adoção do horário de verão) e de 1,1% de toda a energia consumida na nação.** – Base 1998.

- Página 4, segundo parágrafo: Quando se fala em custo da instalação de ar condicionado, está-se referindo ao valor total de todos os equipamentos utilizados na planta como: “chillers”, ventiladores, serpentinas, bombas de água, sensores e dispositivos de controle, dutos para distribuição de ar frio, válvulas e registros, etc., bem como mão-de-obra para a sua execução. Não estão computados os valores referentes às obras civis, como execução de aberturas e posteriores fechamentos, acabamentos e pinturas, nem das instalações elétricas.
- Página 5, quinto parágrafo: o “usuário comum” citado, está se referindo a pessoas que não tenham a formação técnica necessária a projetar ou executar instalações de condicionamento de ar.
- Página 6, segundo parágrafo:

Onde se lê:

“Há a disposição **diversas normas, leis e ferramentas de avaliação** que tratam de aspectos isolados de instalações de condicionamento de ar e de seus efeitos, como, por exemplo”

Leia-se:

“**No Brasil e no exterior**, há a disposição **diversos documentos como normas, leis e ferramentas de avaliação** que tratam de aspectos isolados de instalações de condicionamento de ar e de seus efeitos, como, por exemplo”

- Páginas 11 e 12: O termo “ventilação” foi empregado tanto no sentido de “circulação do ar interno” como no sentido de “renovação do ar interno por meio de admissão de ar externo aos ambientes”, seguindo uma prática comum na língua portuguesa e a terminologia usada pelos autores citados nestas páginas.

- Página 14: primeiro parágrafo:

Onde se lê:

... “O primeiro desses sistemas foi instalado em Houston, no Texas, e apresentava uma serpentina não aletada constituída por tubos de aço tendo como **gás** refrigerante o CO₂, e era utilizado para resfriamento de dois teatros independentes, porém vizinhos.”...

Leia-se:

... “O primeiro desses sistemas foi instalado em Houston, no Texas, e apresentava uma serpentina não aletada constituída por tubos de aço tendo como **fluido** refrigerante o CO₂, e era utilizado para resfriamento de dois teatros independentes, porém vizinhos.”...

- Página 15, primeiro parágrafo

Onde se lê:

...” Posteriormente, as empresas começaram a manufaturar equipamentos compactos (compressor, evaporador, ventilador e condensador resfriado a **água**),”

...

Leia-se:

...” Posteriormente, as empresas começaram a manufaturar equipamentos compactos (compressor, evaporador, ventilador e condensador resfriado a **ar**),” ...

- Página 15: A fim de ilustrar os conceitos envolvidos nas instalações de condicionamento de ar citadas, é apresentado a seguir o esquema de uma instalação de condicionamento de ar com volume de ar constante de aquecimento e resfriamento onde é utilizado um sistema de aquecimento de ar terminal para realizar o controle “fino” da temperatura do ar insuflado nos ambientes. Neste mesmo diagrama, são apresentados os termostatos e motores utilizados no controle das vazões de ar de insuflação e retorno.

“A evolução histórica mostra que os tópicos acima citados nunca foram abordados de forma homogênea, sempre dando-se ênfase a um aspecto de detrimento de outros, estando, com o acúmulo de experiência, somente, atualmente, a condições de equilíbrio”.

Leia-se:

A análise desta evolução histórica mostra que os 5 aspectos acima apresentados nunca foram abordados, em um mesmo período histórico, com o mesmo grau de atenção. Quando se dava atenção a um deles, praticamente, ignoravam-se os demais. Somente a partir da década de 1990, nos Estados Unidos, é que tem início uma abordagem mais abrangente do tema “instalações de ar condicionado”.

- Página 40, primeiro parágrafo: A “EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY)” citada é a dos Estados Unidos da América.

- Página 43:

Onde se lê:

- ❖ Destruição da camada de ozônio devido a CFCs e HFCs usados em equipamentos de resfriamento térmico e sistemas de combate a incêndio (“halons”);

Leia-se:

- ❖ Destruição da camada de ozônio devido a CFCs e HCFCs usados em equipamentos de resfriamento térmico e sistemas de combate a incêndio (“halons”);

- Página 58, Tabela 2:

Onde se lê:

Tabela 2: Pontuação para expressar o grau de importância da relação entre aspectos de desempenho de um sistema

Valor comparativo	Significado
1	ambos itens igualmente importantes
3	item anterior discretamente mais importante que o posterior
5	item anterior mais importante que o posterior
7	item anterior bastante mais importante que o posterior
9	item anterior fundamentalmente mais importante que o anterior

Leia-se:

Tabela 2: Pontuação para expressar o grau de importância da relação entre **duas características** de desempenho de um sistema

Valor comparativo	Significado
1	Ambas características itens igualmente importantes
3	Característica em consideração discretamente mais importante que a outra característica
5	Característica em consideração mais importante que a outra característica
7	Característica em consideração bastante mais importante que a outra característica
9	Característica em consideração fundamentalmente mais importante que a outra característica

- Página 91, último parágrafo,

Onde se lê:

Nos EUA o tema começou a ser tratado em âmbito normativo pela ASHRAE, considerando a variação nas condições climáticas entre o **frio e o calor**, ...

Leia-se:

Nos EUA o tema começou a ser tratado em âmbito normativo pela ASHRAE, considerando a variação nas condições climáticas entre o **verão e o inverno**, ...

- Página 108, primeiro parágrafo:

Onde se lê:

... Os países em desenvolvimento, entretanto, têm períodos de eliminação mais longos.

Leia-se:

... Os países em desenvolvimento, entretanto, têm períodos de eliminação **10 anos** mais longos.

- Página 116, primeiro parágrafo: o artigo citado foi publicado no evento "Building Simulation'99-Sixth International IBPSA Conference", em Quioto em 1999.

SUMÁRIO

Lista de tabelas	
Lista de figuras	
Lista de fotos	
Lista de símbolos	
Resumo	
Abstract	
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A IMPORTÂNCIA DAS INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS.....	2
1.2. ABRANGÊNCIA DA PESQUISA.....	4
1.3. ESCOPO DO TRABALHO.....	5
1.4. ESTRUTURA DA TESE.....	7
2. EVOLUÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO NOS ÚLTIMOS 100 ANOS	10
2.1. OS PRIMÓRDIOS.....	10
2.2. SISTEMAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DE AR.....	13
2.3. A EVOLUÇÃO DO CONTROLE DAS INSTALAÇÕES.....	20
2.3.1. <i>No princípio (Os Primeiro 50 Anos)</i>	20
2.3.2. <i>O período após a Segunda Guerra Mundial</i>	28
2.4. COMISSONAMENTO DAS INSTALAÇÕES (COMMISSIONING).....	34
2.5. ANÁLISE DA VISÃO DOS PROJETISTAS.....	35
3. SISTEMÁTICAS PARA AVALIAÇÃO.....	38
3.1. INDICADORES DA QUALIDADE E DE DESEMPENHO.....	39
3.2. O SELO “ENERGY STAR”.....	39
3.3. A ESCALA DO BRE.....	43
3.4. INFORMAÇÕES DA ACCA.....	45
3.5. ASPECTOS ADOTADOS.....	46
4. ESBOÇO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA.....	47
4.1. ASPECTOS QUE COMPORÃO A SISTEMÁTICA.....	48
4.1.1. <i>Condições ambientais</i>	48
4.1.2. <i>Síndrome dos edifícios doentes</i>	49
4.1.3. <i>Desempenho Energético</i>	54
4.1.4. <i>Impacto Ambiental</i>	54
4.1.5. <i>Projeto da Instalação</i>	55
4.1.6. <i>Análise econômica</i>	56
4.2. ESBOÇO DA SISTEMÁTICA.....	56
4.3. DETERMINAÇÃO DE FATORES DE PONDERAÇÃO.....	57
5. CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	61
5.1. CONFORTO TÉRMICO.....	61
5.1.1. <i>Normas e Legislação Brasileira</i>	62
5.1.2. <i>Normas ISO</i>	65
5.1.3. <i>Norma ANSI/ASHRAE 55/1995</i>	69
5.1.4. <i>Tendência Atual das Normas de Conforto</i>	70
5.1.5. <i>Métodos adotados</i>	72
5.2. CONTAMINAÇÃO DO AR.....	73
5.2.1. <i>Portarias da Vigilância Sanitária</i>	75
5.2.2. <i>Norma NBR 6401</i>	77
5.3. CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ COMO INDICADOR.....	78
5.3.1. <i>Aspectos adotados</i>	79

5.4.	RUÍDO.....	79
5.4.1.	<i>Valores de Referência</i>	80
5.4.2.	<i>Aspectos considerados</i>	84
6.	DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	84
6.1.	O USO DE FONTES DE ENERGIA AO LONGO DA HISTÓRIA.....	85
6.2.	O CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL.....	89
6.3.	LEGISLAÇÕES E PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	91
6.3.1.	<i>EUA</i>	91
6.3.2.	<i>França</i>	95
6.4.	“SOFTWARES” DE SIMULAÇÃO.....	97
6.4.1.	<i>O programa DOE-2:</i>	100
6.4.2.	<i>O programa BLAST:</i>	101
6.4.3.	<i>O programa ESP-r:</i>	102
6.4.4.	<i>O uso de programas de simulação no Brasil</i>	102
6.5.	ASPECTOS ADOTADOS.....	103
7.	IMPACTO AMBIENTAL.....	104
7.1.	PROTOCOLO DE MONTREAL.....	104
7.2.	O PROTOCOLO DE QUIOTO.....	109
7.3.	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE POLUIÇÃO QUÍMICA GERADA PELA COMBUSTÃO.....	112
7.4.	RUÍDO GERADO PELA INSTALAÇÃO DE AR CONDICIONADO.....	117
7.5.	REJEITOS TÉRMICOS E CONSUMO DE ENERGIA.....	118
8.	PROJETO DA INSTALAÇÃO.....	119
8.1.	RECOMENDAÇÕES DA ACCA.....	119
8.2.	LEGISLAÇÃO NACIONAL.....	120
8.2.1.	<i>A Portaria 3523 em 26 de agosto de 1998</i>	120
8.3.	NORMAS TÉCNICAS.....	123
8.3.1.	<i>NBR 13971/97</i>	123
8.3.2.	<i>NBR 14679/2001</i>	125
8.4.	CUIDADOS DE PROJETO.....	125
8.5.	ASPECTOS ADOTADOS.....	130
9.	CUSTO DURANTE A VIDA DA INSTALAÇÃO.....	131
9.1.	A ANÁLISE ECONÔMICA DE INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO NO MUNDO.....	131
9.2.	PREMISSAS DA ASTM E 917 APLICADA ÀS INSTALAÇÕES DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	135
9.3.	A ANÁLISE ECONÔMICA DE INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO NO BRASIL.....	137
9.4.	MÉTODO DE ANÁLISE FINANCEIRA SELECIONADO.....	138
10.	SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA INSTALAÇÃO DE CONDICIONAMENTO DE AR	140
10.1.	REVISÃO DOS FATORES DE PONDERAÇÃO PELO MÉTODO AHP.....	140
10.2.	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO.....	141
10.2.1.	<i>Sensação térmica para o corpo todo</i>	141
10.2.2.	<i>Desconforto causado por circulação de ar</i>	142
10.2.3.	<i>Método de verificação</i>	142
10.3.	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR.....	143
10.3.1.	<i>Exigência mínima</i>	143
10.3.2.	<i>Concentração de CO₂</i>	144
10.4.	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO ACÚSTICO.....	145
10.5.	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	146
10.6.	AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL.....	149
10.6.1.	<i>Agressividade do refrigerante à camada de ozônio</i>	149
10.6.2.	<i>Nível de ruído gerado</i>	150
10.6.3.	<i>Emissão de Rejeitos de Combustão</i>	151
10.6.4.	<i>Método de Avaliação</i>	153
10.7.	MANUTENÇÃO E O PROJETO.....	154
10.7.1.	<i>Programa Obrigatório de Manutenção</i>	154
10.7.2.	<i>Programa de Manutenção Complementar</i>	155
10.7.3.	<i>Projeto da Instalação</i>	155
10.8.	AVALIAÇÃO DO CUSTO DA INSTALAÇÃO.....	156

10.9.	FORMA DE APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA E FICHA RESUMO	157
10.10.	RELAÇÃO ENTRE AS ESCALAS	159
11.	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA SISTEMÁTICA PROPOSTA.....	161
11.1.	QUESTIONÁRIO PARA DETERMINAR OS FATORES DE PONDERAÇÃO.....	161
11.2.	TAMANHO DA AMOSTRA E DIFICULDADES PARA DISTRIBUIÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	163
11.3.	RESULTADOS OBTIDOS.....	165
11.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	167
11.5.	FATORES DE PONDERAÇÃO	171
12.	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	175
12.1.	MEDIÇÕES REALIZADAS	179
12.2.	CONFORTO TÉRMICO.....	179
12.3.	QUALIDADE DO AR.....	180
12.4.	RUÍDO INTERNO	183
12.5.	CONSUMO DE ENERGIA.....	183
12.6.	IMPACTO AMBIENTAL	184
12.7.	PROJETO E MANUTENÇÃO	184
12.8.	AVALIAÇÃO GLOBAL.....	186
12.8.1.	<i>Aprimoramentos na instalação.....</i>	<i>187</i>
12.9.	ENTREVISTA COM USUÁRIOS	188
12.10.	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA.	189
13.	CONCLUSÕES.....	190
	ANEXO A – Eficiências energéticas mínimas exigidas pela Norma ASHRAE/IES 90/89	
	ANEXO B – Custos da Energia Elétrica e de Instalações de Condicionamento de ar.	
	ANEXO C – Extratos das Normas ISO 7726 e 7730.	
	ANEXO D – Normas Técnicas apresentadas pela Resolução RE nº 176 de 24/10/2000.	
	Referências Bibliográficas	
	Bibliografia	
	Apêndice I – Cópia do artigo ilustrando o uso de softwares de simulação do desempenho energético de instalações de condicionamento de ar.	

Índice de Tabelas

Tabela 1: Principais critérios a serem considerados para geração de um indicador.....	39
Tabela 2: Pontuação para expressar o grau de importância da relação entre aspectos de desempenho de um sistema.....	58
Tabela 3: Valores de projeto para a temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) recomendados para condições de inverno pela NBR 6401.	62
Tabela 4: Valores de projeto para a temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) recomendados para condições de verão pela NBR 6401.	62
Tabela 5: Três categorias de ambientes térmico propostas e porcentagem de pessoas insatisfeitas, tanto com o estado de todo o corpo, como com relação a sensações de desconforto localizadas.....	71
Tabela 6: Recomendações de filtros de ar segundo a NBR 6401.	74
Tabela 7: Valores mínimos e recomendados pela NBR 6401 para a taxa de renovação do ar externo.....	77
Tabela 8: Níveis máximos de ruído gerado pelas instalações de condicionamento de ar permitidos pela Norma NBR 6401.....	81
Tabela 9: Valores recomendados para o nível de ruído, pela Norma NBR10152, para se conseguir condições satisfatórias de conforto em ambientes, conforme notas da própria tabela.....	83
Tabela 10: Potencial de ataque ambiental de fluidos refrigerantes e derivados de CFC.	109
Tabela 11: Gases responsáveis pelo efeito estufa.	110
Tabela 12: Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90).....	114
Tabela 13: Valores limites de ruído produzido, em dB (A), por fontes fixas segundo a Norma NBR 10151.....	117
Tabela 14: Periodicidade de manutenção recomendada pela resolução RE n ° 176.	122
Tabela 15: Relação de Normas ASTM usadas para avaliação financeira de investimentos.....	133

Tabela 16: Normas a serem utilizadas em análises econômicas de investimentos realizados em edifícios e suas instalações, segundo a ATSM E 1185-93 (A)	134
Tabela 17: Relação entre PPI e créditos para os limites da escala 1.	142
Tabela 18: Escala para valoração da qualidade do ar interno.	144
Tabela 19: Pontuação técnica em função das relações entre as eficiências energéticas das instalações.....	147
Tabela 20: Relação entre pontos técnicos e potencial de destruição da camada de ozônio (PDO).	149
Tabela 21: Limites máximos de emissões especificados pelo CONAMA (1990).	151
Tabela 22: Relação de créditos atribuídos a aspectos de manutenção preventiva complementar.	155
Tabela 23: Relação de créditos atribuídos a aspectos de projeto.	156
Tabela 24: Planilha contendo o resumo da sistemática.....	159
Tabela 25: Detalhamento das respostas atribuídas à pergunta 9, segundo o tipo de edifício e de instalação de ar condicionado existente.	172
Tabela 26: Aspectos de manutenção preventiva complementar.	184
Tabela 27: Relação de créditos atribuídos a aspectos de projeto.	185
Tabela 28: Pontuação técnica obtida com a aplicação da sistemática.	186
Tabela 29: Resultados das entrevistas com os usuários.	188

Índice de Figuras

Figura 1: Zoneamento climático do Brasil (IPT, 1995).....	3
Figura 2: Diagrama de causa e efeito relacionando os aspectos da instalação de ar condicionado com a satisfação do usuário.	8
Figura 3: Relação entre voto médio estimado e porcentagem de pessoas insatisfeitas.	68
Figura 4: Diagrama psicrométrico com a indicação da zona de conforto segundo a Norma ANSI/ASHRAE 55/95.....	70
Figura 5: Formas de transmissão do ruído das instalações de ar condicionado para o ambiente.	80

Figura 6: Acréscimo no nível de pressão sonora no ambiente devido a ação de uma segunda fonte de ruído de menor intensidade, em função da diferença de pressões sonoras produzidas pelas duas fontes individualmente.	84
Figura 7: Evolução do consumo e da produção totais de energia no Brasil.	89
Figura 8: Evolução da produção de energia no Brasil, por fonte.	89
Figura 9: Variação da participação das diversas fontes de energia na oferta interna, no período de 1940-1998. Fonte: Balanço Energético Nacional 1999 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA).....	90
Figura 10: Evolução qualitativa do consumo máximo de energia em edificações na França, estabelecido por sucessivas alterações legislativas (M.E.L.L.A.T., 1988).....	97
Figura 11: Elementos principais que devem compor os “softwares” de simulação do comportamento térmico de edificações e de seus sistemas de condicionamento.....	99
Figura 12: Representação metafórica de custos iniciais e de operação de um edifício. (BLANCHARD apud JICA, 1992).	132
Figura 13: Esquema da atmosfera ao redor de uma fonte de emissão de poluentes.	152
Figura 14: Escala colorimétrica de Ringelmann.....	153
Figura 15: Planta do local onde foram realizadas as medições.....	175
Figura 16: Valores medidos da velocidade do ar (m/s), no centro das regiões delimitadas pelas cotas X e Y.....	180

Índice de Fotos

Foto 1: Vista da mesa de operação e controle do sistema de ar condicionado da BOVESPA.	34
Foto 2: Vista da linha de produtos de um fabricante de filtros (identificação inserida pelo autor).	75
Foto 3: Janela em andar elevado, onde está a grelha de tomada de ar com filtro.	126
Foto 4: “Fan-coil” em sala com dimensão adequada para trabalhos de limpeza e manutenção.	127

Foto 5: Dutos de distribuição de ar em posição compatível com a estrutura da edifício e com o sistema de iluminação artificial.....	128
Foto 6: Vista de um escritório com insuflação de ar pelo piso.	129
Foto 7: Interior do laboratório com destaque para as bocas de insuflação de ar.	176
Foto 8: Final do duto de distribuição, vindo do equipamento ao ambiente.	177
Foto 9: Grelha de insuflação de ar, com aletas móveis.	177
Foto 10: Lateral do duto de insuflação, com vista do termostato e controles de liga/desliga do compressor e do ventilador.	178
Foto 11: Parte superior do duto, com o equipamento situado atrás deste. Neste local é feita a manutenção e a mistura do ar de retorno.	178
Foto 12: Lavagem do filtro de ar.	181
Foto 13: Parte da água coletada durante a lavagem.	182
Foto 14: Parte da água coletada durante a lavagem.	182

RESUMO

As instalações de ar condicionado representam um elemento altamente relevante na qualidade de vida de usuários de edifícios, seja pela sua finalidade básica, o controle da temperatura, da umidade e da pureza do ar interno, seja pelas demais implicações de sua existência e operação, como consumo de energia, espaço ocupado no edifício, potencial de agressão ao meio ambiente, etc.

Essas instalações, como vários outros tipos de produtos e sistemas, podem ser abordadas por diversos ângulos: o do fornecedor de equipamentos de condicionamento, o do instalador destes equipamentos e de vários outros com caráter técnico, deixando aquele que, com certeza, é o mais importante, o do consumidor/usuário do sistema de condicionamento ambiental, limitado a manifestar-se apenas sobre as condições ambientais internas e ao preço inicial do sistema.

Neste contexto e visando tornar os aspectos relativos às instalações de ar condicionado mais claras ao usuário comum, o presente trabalho propõe uma sistemática para avaliação de instalações de ar condicionado em edifícios comerciais sob a óptica do usuário, empregando uma escala de avaliação, com um único indicador. Esta escala pretende ser de fácil interpretação para o usuário comum, combinando, de forma ponderada, todos os aspectos técnicos importantes ao bom funcionamento de uma instalação de ar condicionado.

Para desenvolver a escala e desenvolver uma sistemática de avaliação, foi feita uma revisão histórica da evolução das instalações de condicionamento de ar nos últimos 100 anos ressaltando quais são os principais aspectos considerados pelos projetistas visando atender às necessidades dos usuários e o levantamento e a discussão de Normas Técnicas, legislações e métodos utilizados, nacional e internacionalmente, para a avaliação de diversas características das instalações de ar condicionado.

Para compor a sistemática foram selecionados os seguintes parâmetros: Condições de conforto térmico; Qualidade do ar interior; Ruído no interior dos recintos, Performance do equipamento e Consumo de energia, Impacto Ambiental, Projeto físico da instalação: Manutenção e instalação básica, custo durante a operação da instalação.

Para avaliar a adequação da sistemática proposta, foi feita a sua aplicação a uma instalação padrão.

ABSTRACT

Air conditioning systems are an important element in commercial buildings users quality of life, due to its basic function (control indoor air temperature, relative humidity and purity) or due its energy consumption, lost space, etc.

These buildings installations, like other products, may be analyzed by many view points: the contractor, the HVAC manufacturer, and others under a technical approach. But, the user view point is generally not concerned by air conditioning designers.

Intending to clarify the technical aspects of a air conditioning system to the end user, in this work a method is proposed, using a single indicator that may be quickly and easily understood by common people. This indicator weights the main aspects that determinate the a air conditioning system performance.

To develop the method a historical review of design practices was made. Also, specific evaluation tools were analyzed, together Brazilian and international laws and standards.

The following aspects was selected to integrate the method: indoor thermal comfort, indoor air quality, indoor noise, HVAC energy performance, environmental impact, design and maintenance cares, and life cycle cost.

The method was tested in a simple building.

1. Introdução

As instalações de ar condicionado representam um elemento altamente relevante na qualidade de vida de usuários de edifícios, seja pela sua finalidade básica, o controle da temperatura, da umidade e da pureza do ar interno, seja pelas demais implicações de sua existência e operação, como consumo de energia, espaço ocupado no edifício, potencial de agressão ao meio ambiente, etc.

Essas instalações, como vários outros tipos de produtos e sistemas, podem ser abordadas por diversos ângulos: o do fornecedor de equipamentos de condicionamento, o do instalador destes equipamentos e de vários outros com caráter técnico, deixando aquele que, com certeza, é o mais importante, o do consumidor/usuário do sistema de condicionamento ambiental, limitado a manifestar-se apenas sobre as condições ambientais internas e ao preço inicial do sistema.

No Brasil esta situação parece estar ainda mais acentuada. É uma prática comum que, até quando do projeto do edifício, momento em que as decisões arquitetônicas e de engenharia civil tomadas afetarão o sistema de ar condicionado, o projetista desta instalação é deixado a parte, por se considerar o tema uma matéria de caráter especializado e de difícil compreensão.

Outro fator que contribui para esta situação é o mito criado pela imprensa de que todo o grande incêndio em edifícios teve início no ar-condicionado. Como se as serpentinas de Cobre, "chillers", dutos em aço galvanizado fossem altamente combustíveis... Na realidade este é um triste espelho de uma sociedade com baixa informação técnica que confunde a combustão nos materiais do forro e do revestimento do interior de recintos, originada por um curto circuito em uma "gambiarra" na instalação elétrica ou, por condutores elétricos subdimensionados, com a queima de um equipamento de ar condicionado.

Ressalte-se que quando se fala em edifícios comerciais estão sendo tratadas somente as instalações em edifícios de escritórios ou similares, excluindo-se plantas industriais e edificações que contenham instalações de refrigeração para conservação de alimentos e produtos, com participação significativa no consumo energético da edificação ou com capacidade suficiente para afetar as condições ambientais internas, como os supermercados dotados de balcões frigoríficos.

1.1. A importância das instalações de ar condicionado em edifícios comerciais.

O uso de instalações de condicionamento de ar é quase que uma imposição em edifícios do setor terciário da economia onde se tem grande quantidade de pessoas presentes, representando elevadas cargas térmicas, tanto sensível como latente e uso intensivo de equipamentos eletro-eletrônicos. Somando-se a estes fatores, tem-se as condições climáticas reinantes no território nacional, que segundo AKUTSU (1998), obrigam o uso de sistemas de condicionamento ambiental (aquecimento e/ou resfriamento), em 88% do país, caso se deseje condições satisfatórias de conforto térmico durante o dia todo. Esta região está ilustrada na Figura 1, como zonas climáticas 1 a 4.

Neste contexto, trabalhadores ficam expostos, durante 8 horas / dia, às condições ambientais produzidas pelas instalações de ar condicionado.

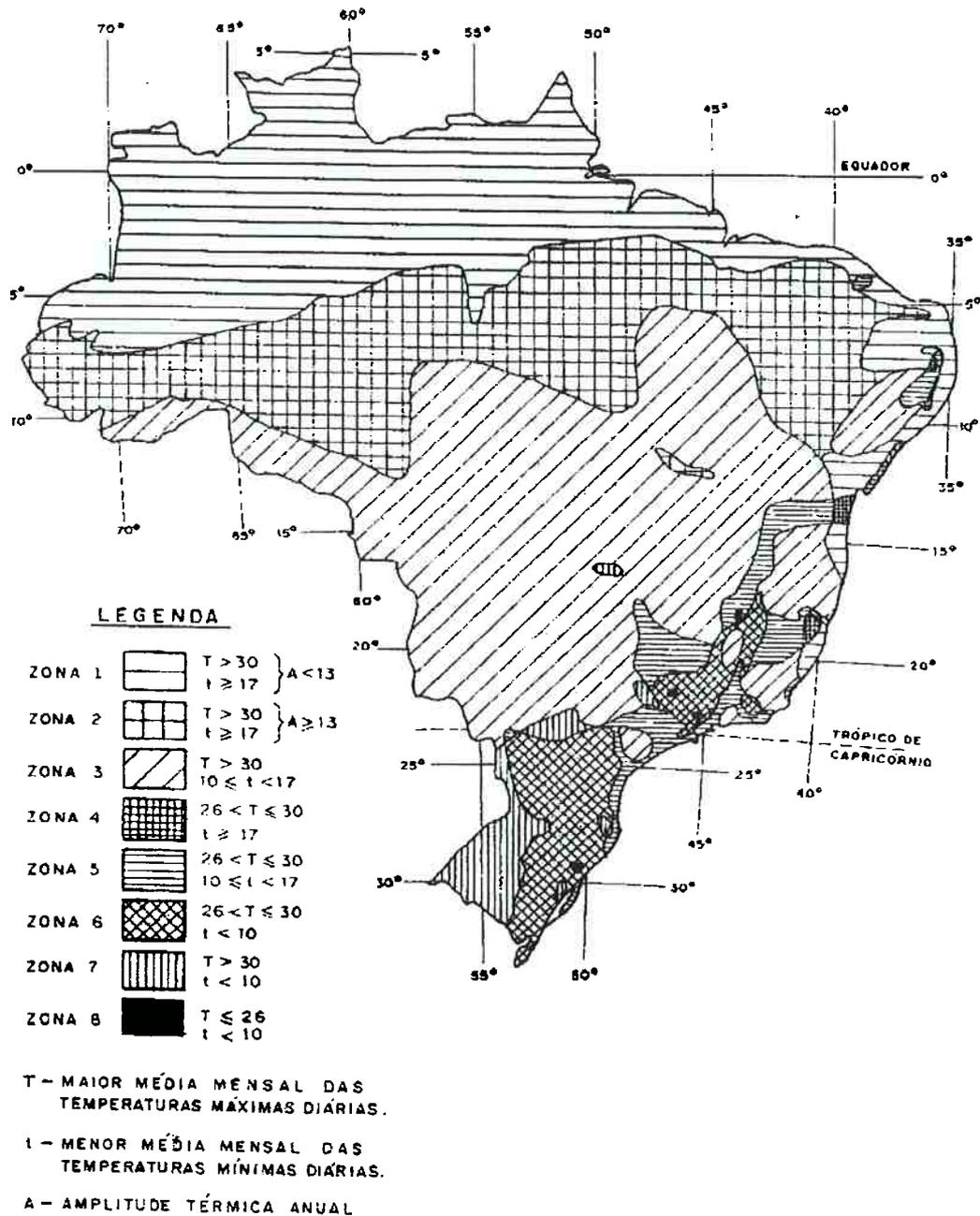


Figura 1: Zoneamento climático do Brasil (IPT, 1995)

Por outro lado, as instalações de ar condicionado para conforto em edifícios comerciais representam uma parcela significativa do consumo energético nacional. Fazendo-se uma análise com base no Balanço Energético Nacional de 1999 (disponível para download no site do Ministério das Minas e Energia - www.mme.gov.br), tomando-se como sendo de 40% do total de eletricidade consumido pelo setor terciário devido ao sistema de ar

condicionado, chegamos a valores da ordem de 5,5% em relação ao consumo de eletricidade do país (o dobro do que deve ser economizado com a adoção do horário de verão) e de 2,1% de toda a energia consumida na nação. – Base 1998.

Com relação ao aspecto do custo de execução destas instalações, considerando-se um COP médio de 3 para estas instalações, um custo médio de R\$ 4.000,00 por TR instalada (dados conseguidos informalmente junto à SMACNA) e um acréscimo de 9% ao ano da capacidade instalada (mesma taxa de crescimento no consumo médio anual de energia elétrica nos últimos 5 anos – 1000TR/ano) tem-se um custo de produção de novas instalações de R\$ 4.000.000,00/ano.

Apesar de toda esta importância das instalações de ar condicionado no dia a dia das pessoas, não há, ainda, uma forma integrada de avaliar a sua adequação ou seu desempenho. Esta situação se torna cada vez mais estranha num momento mundial em que “qualidade” é condição básica para competitividade e até sobrevivência de empresas. Entende-se aqui qualidade segundo o conceito apresentado por TAGUCHI (1994), em que qualidade em um produto ou serviço está associado não só à satisfação do seu consumidor, mas também da pessoa que o produziu, do empresário financiador da produção e da sociedade que irá conviver com a sua utilização e descarte.

1.2. Abrangência da pesquisa

Este trabalho apresenta uma escala adequada às condições típicas existentes em edifícios comerciais no território brasileiro, onde as necessidades de aquecimento são mínimas ou praticamente inexistem, mesmo nos estados mais frios do país. Da mesma forma, fatores de ponderação a serem utilizados na escala de avaliação devem retratar os anseios dos habitantes do território nacional com relação às instalações de ar condicionado, entendidas aqui como instalações de resfriamento de ar. Porém, dada a dificuldade de se realizar um levantamento de opinião de âmbito nacional sem um aporte significativo de

capital, este levantamento está se restringindo aos habitantes da cidade de São Paulo.

Observe-se que, ainda é comum construir-se edifícios de escritórios voltados à locação/venda prevendo o uso de equipamentos do tipo de “janela” por parte do usuário. Este comportamento se deve ao fato de o construtor querer recuperar rapidamente o seu investimento e uma instalação central de ar condicionado tender a aumentar o tempo de retorno do investimento por ter um custo relativamente elevado aumentando o preço de venda dos imóveis e um condomínio maior devido a sua manutenção. Para usuários do edifício, que têm pequeno conhecimento da operação destes sistemas, a inexistência de uma central é muitas vezes mais atrativa pois o uso de pequenas unidades permite um controle mais individualizado das condições internas sem perceber que o consumo energético é maior.

Para suprir essa lacuna, este trabalho pretende dotar os usuários de edifícios comerciais com uma ferramenta que possa ser aplicada na avaliação das instalações de condicionamento ambiental, abrangendo os principais aspectos que afetam o seu desempenho, por meio de uma escala de fácil interpretação e que, inclusive, no futuro, seja base para a normatização.

A sistemática aqui apresentada não contemplará instalações com equipamentos do tipo de janela que atendam a um único usuário, como aquelas instaladas em escritórios individuais.

Com relação à escala de análise, apresentada neste trabalho, tem-se associado critérios de desempenho mínimo, criados a partir da visão técnica de um engenheiro e que foge de um usuário comum.

1.3. Escopo do trabalho

Não foi encontrado na literatura um critério/método que possa ser empregado para se avaliar o desempenho do produto “sistemas de ar

condicionado” de uma forma global (envolvendo diversos critérios simultaneamente) e considerando ainda a opinião do usuário.

Há a disposição diversas normas, leis e ferramentas de avaliação que tratam de aspectos isolados de instalações de condicionamento de ar e de seus efeitos, como, por exemplo as condições de conforto térmico. Neste trabalho, será feito um levantamento destes documentos, e uma análise crítica de suas exigências, extraindo-se delas os elementos que serão utilizados na sistemática proposta.

Será feito também um levantamento histórico de práticas e recomendações de projeto que foram ou são adotadas por projetistas, visando atender a necessidades de usuários e, extraindo-se daí também contribuições.

Neste contexto e visando tornar os aspectos relativos às instalações de ar condicionado mais claras ao usuário comum, o presente trabalho propõe uma sistemática para avaliação de instalações de ar condicionado em edifícios comerciais sob a óptica do usuário, empregando uma escala de avaliação, com um único indicador. Esta escala pretende ser de fácil interpretação para o usuário comum, combinando, de forma ponderada, todos os aspectos técnicos importantes ao bom funcionamento de uma instalação de ar condicionado.

Pretende-se também que esta escala permita ao usuário realizar análises comparativas de diversas alternativas propostas, sem subjetividades, empregando métodos confiáveis e reprodutíveis; possa aplicá-la a instalações existentes a fim de detectar pontos para melhoria; e realizar análises do tipo benefício/custo.

Serão considerados para a elaboração deste trabalho os seguintes aspectos:

- Condições internas
 - ❖ Temperatura, Umidade e Velocidade do ar e temperatura radiante média.
 - ❖ Qualidade do ar interior.

- ❖ Ruído no interior dos recintos.
- Performance do equipamento e Consumo de energia
- Impacto Ambiental
 - ❖ Agressividade do Refrigerante Utilizado ao Meio Ambiente.
 - ❖ Rejeitos de Combustão em Instalações de cogeração.
 - ❖ Ruído gerado pela instalação que possa prejudicar vizinhos.
- Projeto físico da instalação: Manutenção e instalação básica
- Custos e Análise Econômica.

Na Figura 2 é apresentado um diagrama de causa e efeito ilustrando estes tópicos.

1.4. Estrutura da tese

Este trabalho foi estruturado da seguinte maneira:

No capítulo 2 é apresentada uma revisão histórica da evolução das instalações de condicionamento de ar nos últimos 100 anos ressaltando quais são os principais aspectos considerados pelos projetistas visando atender às necessidades dos usuários;

No capítulo 3 tem-se uma discussão sobre formas de avaliação de desempenho de sistemas em geral e são apresentadas considerações sobre sistemáticas existentes para avaliações do desempenho de edifícios e de suas instalações ao redor do mundo;

No capítulo 4 é apresentado um esboço da sistemática proposta nesta tese, discutindo-se a relevância dos aspectos a serem contemplados na sistemática;

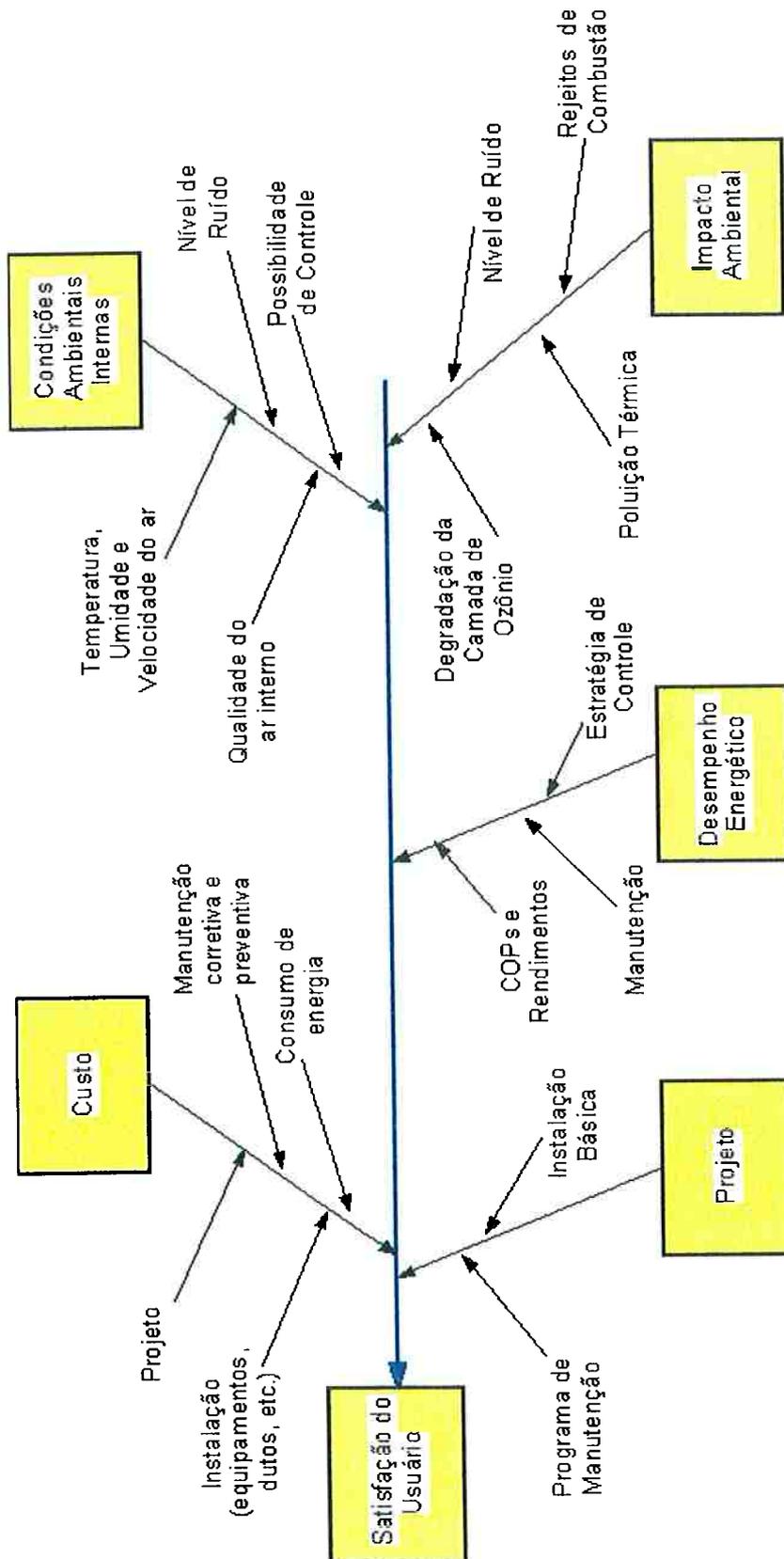


Figura 2: Diagrama de causa e efeito relacionando os aspectos da instalação de ar condicionado com a satisfação do usuário.

No capítulo 5 são apresentadas e discutidas as Normas Técnicas, legislações e métodos utilizados, nacional e internacionalmente, para a avaliação das condições ambientais no interior de recintos condicionados termicamente, expondo quais aspectos são úteis para a sistemática proposta.

Nos capítulos 6 a 9, de modo similar ao feito no capítulo 5, tem-se discutidos e analisados métodos de avaliação, normas e legislação referentes, respectivamente, aos aspectos: desempenho energético; impacto ambiental, adequação do projeto e manutenção da instalação; e análise econômica da instalação. São também indicados os aspectos utilizados na sistemática proposta.

No capítulo 10 será apresentada detalhadamente a sistemática proposta, utilizando os métodos e indicadores extraídos dos capítulos anteriores.

No capítulo 11 é apresentada uma medição preliminar da adequação da sistemática proposta para avaliação de instalações de condicionamento de ar, através das respostas de usuários de edifícios condicionados a um questionário;

No capítulo 12 tem-se um exemplo de aplicação desta sistemática a uma instalação de pequeno porte, apresentando comentários acerca das dificuldades encontradas na sua aplicação.

No capítulo 13 são apresentados conclusões, comentários finais e indicações de aspectos que podem ser aprofundados ou revisados em trabalhos futuros.

2. Evolução das instalações de ar condicionado nos últimos 100 anos

As informações apresentadas neste capítulo visam proporcionar ao leitor uma evolução histórica das práticas adotadas no setor de ar condicionado, desde os seus primórdios até os dias atuais. Estas informações foram obtidas basicamente em três artigos (LAWSON, 1994), (SHAVIT, 1994), (LEWIS, 1994) apresentados nos "Transactions" da ASHRAE, em comemoração ao seu centenário.

2.1. Os primórdios

O consumo de energia em edificações está intimamente ligado à necessidade do homem de produzir condições ambientais aceitáveis, visando, num primeiro momento, a sua proteção e, num nível mais avançado, o seu conforto e bem estar. Inicialmente, a edificação faz o papel de abrigo, protegendo o homem da chuva, da neve, do vento, da radiação solar e das variações de temperatura. Quando o homem vivia em cavernas, a energia proveniente da queima de madeira servia não só para cozer os alimentos, como também para iluminar e aquecer o ambiente. Se o abrigo por si só não é capaz de proporcionar as condições mínimas ou desejáveis, o homem lança mão de recursos adicionais, que implicam necessariamente, em consumo de energia. Energia para iluminar, para aquecer ou resfriar o ambiente, para cozer ou conservar seus alimentos, para aquecer a água utilizada na sua higiene, para produzir os materiais de construção, enfim, o homem moderno vem cada vez mais se valendo de recursos adicionais em busca de maior conforto e produtividade que, pela relação direta com o aumento do consumo de energia, nos obriga a refletir em busca de um equilíbrio que seja sustentável.

O condicionamento térmico dos ambientes iniciou-se com o aquecimento, pela queima da madeira, do carvão, seguidos por derivados de

petróleo, gás natural e mais tarde com a energia elétrica, gerada a partir de recursos hídricos e termonucleares.

Posteriormente, o homem passou a ventilar os ambientes como forma de torná-los mais agradáveis. Num primeiro momento buscou unicamente promover a movimentação do ar, sem se preocupar com outros aspectos, como a sua temperatura ou a sua qualidade. Posteriormente, estes dois fatores passaram a ser alvo de atenção e buscou-se o seu controle pela introdução de ar “fresco e limpo” no interior dos ambientes. Somente muito mais tarde é que se iniciou o condicionamento do ar fornecido aos ambientes.

Antes do uso de dispositivos, as pessoas já promoviam a ventilação natural abrindo janelas e portas. Os primeiros ventiladores eram circuladores de ar constituídos por “placas” movimentadas continuamente por seres humanos e eram utilizados por gregos, romanos, chineses e egípcios há mais de 2000 anos atrás. Outro dispositivo para movimentação de ar, que chegou aos dias de hoje, foi originado na Índia e denominado “punka”. Consistia de uma grande folha que ficava pendurada a partir do teto e, acionada manualmente, puxando-se uma corda.

Pode-se dizer que o primeiro dispositivo acionada por uma fonte de energia não humana foi construído no Século XV por Leonardo da Vinci, para ventilar os quartos da esposa de seu patrão, utilizando como energia motriz o movimento de um curso de água.

Em 1600, Sir Christopher Wren, um arquiteto inglês, projetou o primeiro sistema de exaustão natural, por efeito chaminé, para ventilar as câmaras do Parlamento Britânico. Em 1736, J.T. Desaqulier inventou o nome “ventilator” para descrever o homem que girava uma manivela para acionar um ventilador centrífugo que ele estava propondo que fosse utilizado para fornecer ar para o resfriamento de conveses inferiores de navios de guerra. Esse sistema acabou não sendo utilizado na prática, e seu proponente voltou a adotar o sistema utilizado na Câmara dos Comuns do Parlamento, sem sucesso.

Ressalte-se que ao longo do século XX, os ventiladores evoluíram consideravelmente, havendo desde os modelos domésticos, que podem ser colocado sobre móveis, até aqueles utilizados em instalações industriais e de condicionamento de ar. A primeira norma técnica que tratou da questão da ventilação dos ambientes nos EUA foi aprovada somente em 1973 pela ASHRAE (1973), provocando uma mudança de prática de projeto. Os valores de referência de 5 a 15 cfm (8,5 m³/h a 25,5 m³/h) por pessoa, até então correntemente adotados, passaram a ser substituídos por exigências que levavam em conta o tipo de uso dos ambientes, tendência esta que continua presente até hoje. Atualmente, a discussão está centrada nos novos valores mínimos de ar externo para ventilação apresentados pelas versões mais recentes desta Norma, que, para alguns projetistas ainda sob os efeitos das crises energéticas da década de 1970, são considerados elevados demais. Contra esta posição surgem os argumentos voltados à salubridade dos ambientes uma vez que a chamada síndrome dos edifícios doentes está presente em diversos locais e, em grande parte das situações, tal condição pode ser atribuída às baixas taxas de ventilação dos recintos.

Voltando ao tema das instalações de condicionamento de ar, YUNNIE (1996) apud AKUTSU (1998), identifica como as primeiras edificações aquecidas, a partir do uso de combustíveis, algumas habitações particulares de cientistas de renome da área térmica, como James Watt, construídas no Reino Unido da Grã-Bretanha em meados do século XVIII, utilizando técnicas de distribuição de vapor e água aquecidos. Não há, entretanto, um consenso sobre qual foi a primeira edificação que pode ser realmente considerada como condicionada segundo os padrões modernos de distribuição de ar e água aquecidos utilizados em países de clima frio.

No final do século XIX vale destacar a Escola de Arte de Glasgow, projetado por Charles Renné Mackintosh, onde o sistema de ar-condicionado projetado por Willian Key foi alvo de patente devido à possibilidade de controlar, ainda que de maneira rudimentar, a temperatura, a umidade e a pureza do ar, podendo tanto resfriá-lo, como aquecê-lo.

2.2. Sistemas de Aquecimento e Resfriamento de Ar

O primeiro sistema de aquecimento, depois da lareira, utilizado em larga escala em habitações foi o das fornalhas de alimentação por gravidade, que foram muito usadas até a década de 1850, quando então começam surgir no mercado caldeiras a vapor alimentando radiadores, que foram muito empregados em edifícios comerciais até a Segunda Guerra Mundial.

Deste ponto em diante, as informações apresentadas referem-se exclusivamente aos Estados Unidos. Não foram obtidas as informações correspondentes ou equivalentes para o Brasil ou outros países.

Depois de 1900, grandes edifícios como teatros, igrejas e outros para uso similar eram aquecidos e ventilados usando insuflação através de dutos onde eram instaladas serpentinas por onde circulava vapor. Algumas instalações industriais também utilizavam este tipo de sistema.

Os primeiros sistemas utilizados para o resfriamento ambiental, visando produzir condições satisfatórias de conforto aos ocupantes dos edifícios eram baseados em adaptações da indústria de refrigeração, usando eminentemente gelo como fonte de frio.

O sistema típico era composto de um grande tanque preenchido com água e gelo e um sistema de ventilador e dutos com um gerador de névoa instalado numa secção do duto que resfriava e umidificava o ar que passava no interior deste duto. Esses sistemas requeriam, no mínimo, diariamente, a sua alimentação com barras de gelo e praticamente não apresentavam capacidade de controle. O ar insuflado era composto por 100% de ar externo. Da mesma forma que os primeiros sistemas de aquecimento, suas aplicações eram em grandes edifícios públicos, como igrejas e teatros. Esses sistemas foram utilizados entre as décadas de 1890 e 1930. Em algumas aplicações gelo seco (CO₂ congelado) também foi utilizado.

No início da década de 1920 os primeiros sistemas de resfriamento ambiental com características até hoje utilizadas foram lançados no mercado,

adaptando compressores e gases refrigerantes das indústrias de fabricação de gelo e de processamento de alimentos. Os primeiros refrigerantes utilizados foram o CO₂, a amônia e o SO₂. O primeiro desses sistemas foi instalado em Houston, no Texas, e apresentava uma serpentina não aletada constituída por tubos de aço tendo como gás refrigerante o CO₂, e era utilizado para resfriamento de dois teatros independentes, porém vizinhos. O sistema de controle se limitava ao básico liga-desliga.

No final da década de 1920, o refrigerante R12 foi introduzido na indústria do ar condicionado. Dois dos primeiros compressores centrífugos usados com esse novo refrigerante foram instalados num teatro em Belmont, Texas e em um hospital em Chicago, Illinois. O controle dessas máquinas era feita fechando-se, manualmente, a válvula de descarga do refrigerante. A máquina de Chicago permaneceu operante até 1977. A máquina de Belmont foi instalada em 1927 e permaneceu operante até a década de 1960. Compressores alternativos foram usados na primeira metade do século, com todos os quatro refrigerantes acima citados, e tinham entre um a quatro cilindros, comumente com grande cilindrada, baixa rotação e acionados por correia.

O primeiro escritório comercial resfriado em Houston foi o edifício Humble. O sistema utilizava água gelada que era borrifada sobre o fluxo de ar. O equipamento de refrigeração era formado por dois compressores alternativos de 4 cilindros cada, provendo uma capacidade de refrigeração de 203 TR, acionados por motores síncronos de 225 HP operando a 225 rpm, especialmente adaptados para operarem em 4000 V.

Antes da Segunda Guerra Mundial, o R12 já estava sendo utilizado na maior parte dos novos sistemas de resfriamento. Durante o período da 2ª Guerra, pouquíssimos sistemas de condicionamento de ar foram instalados. Neste período, diversas máquinas de absorção foram utilizadas nos edifícios das próprias empresas produtoras dos equipamentos. Quase todos eles eram refrigerados a água utilizando condensadores evaporativos ou torres de resfriamento.

Depois da guerra, a tecnologia de trocadores de calor e dos processos de fabricação evoluíram a tal ponto que serpentinas de evaporação feitas com tubos aletados helicoidalmente ou aletas planas tornaram-se suficientemente baratos para serem utilizados pela indústria do ar condicionado. Antes da guerra, praticamente todos os sistemas eram construídos “in loco” a partir da montagem de seus componentes individuais. Posteriormente, as empresas começaram a manufaturar equipamentos compactos (compressor, evaporador, ventilador e condensador resfriado a água), que se tornaram extremamente atrativos para o consumidor. As unidades de janela começaram a ser instaladas em residências e em pequenos prédios comerciais. Muitos hotéis e quartos de hospitais utilizavam estas unidades de janela.

Em 1947 no Hotel Shamrock em Houston, foram utilizados unidades “fan-coil” para cada sala, alimentadas por um sistema de distribuição de água quente/gelada de dois tubos. Salões de baile e outras salas similares eram servidas por unidades de distribuição de ar com serpentinas que eram alimentadas por água gelada, provenientes de uma máquina de refrigeração por absorção, de simples estágio, que trabalhava com uma solução de brometo de lítio.

Na década de 1950, pode-se dizer que a indústria de ar condicionado cresceu vertiginosamente. Nos grandes edifícios, passou-se a utilizar largamente sistemas de distribuição de água gelada para o resfriamento, tendo como máquina central, “chillers” centrífugos, enquanto que nos edifícios pequenos e médios, continuaram a ser utilizadas unidades compactas distribuindo ar frio. Era comum se encontrar escritórios com unidades compactas destinadas a zonas simples servindo todos os ambientes, resultando em um controle de temperatura muito pouco satisfatório. No meio da década de 1950, o R11 se tornou o refrigerante utilizado pela maior parte dos “chillers” centrífugos. Esses equipamentos eram, em geral, acionados por motores elétricos ou turbinas a vapor. Algumas unidades de resfriamento por absorção de simples estágio também eram utilizadas. Para melhorar o controle de temperatura nos espaços ocupados, unidades “fan-coil” e sistemas de distribuição de ar multi-zona passaram a ser utilizados na distribuição do ar.

Outros refrigerantes foram utilizados nos “chillers” centrífugos no final da década de 1950 e início da de 1960: R113, R114 e R115. Esses refrigerantes com moléculas de CFC nunca obtiveram uma grande aceitação sendo, contudo, encontrado ainda no mercado o R114 até meados da década de 1980. O R11 e o R12 continuaram a ser utilizados em “chillers” centrífugos até os primeiros anos da década de 1990.

No final de década 1950 e início da de 1960, havia uma demanda para a criação de mais zonas condicionadas do que era possível se criar com os sistemas em uso. Neste contexto, quatro “novos” sistemas passaram a ser utilizados: unidades de indução; sistemas de duplo duto; reaquecimento terminal e o de volume de ar variável (VAV). Ressalte-se que este último reaparece após as primeiras experiências realizadas no começo do século. O sistema de duplo duto e reaquecimento terminal ganharam uma grande aceitação e as unidades de indução em alguns edifícios estão ativas até hoje. Já os sistemas VAV não tiveram tão grande difusão uma vez que ainda permanecia a dificuldade de controle dos “dampers” de restrição de passagem de ar e de regulação da vazão dos ventiladores.

O R22 começou a ser aplicado em sistemas de ar-condicionado no final da década de 1950 principalmente substituindo o R12 em pequenas instalações residenciais e comerciais. O R500, a primeira mistura de refrigerantes azeotrópicos, começou a ganhar mercado também no final desta década. Ainda nesta década, assistiu-se ao lançamento dos compressores herméticos.

Os sistemas de aquecimento, durante este período, continuaram a ser baseados em vapor ou água quente. Convectores e radiadores ainda eram os elementos básicos destas instalações. Fornalhas com dutos para exaustão de gases queimados também eram populares. Era freqüente encontrar edifícios onde os “fan-coils” eram do tipo duplo tubo recebendo água quente ou gelada.

Na década de 1960, as unidades compactas de resfriamento de ar para zonas simples ganharam larga aceitação para pequenas lojas bem como para outras aplicações, passando de um “luxo” para uma “necessidade”. Por outro

lado, o uso dos sistemas de aquecimento passou a ser incentivado pelas companhias distribuidoras de eletricidade (sistemas baseados em resistências elétricas) ou de gás (turbinas a gás gerando eletricidade e aproveitando o rejeito térmico em caldeiras de recuperação). Neste período, os custos dos energéticos eram baixos e sistemas de condicionamento como o de duto duplo ou de reaquecimento terminal, reconhecidamente grande consumidores de energia, proliferaram. A aceitação de limites de temperatura para fins de economia de energia diminuiu fortemente. Os controles tipo liga-desliga praticamente não eram mais aceitáveis e a possibilidade de aplicar técnicas de modulação contínua se tornou uma necessidade para muitos proprietários de edifícios. Neste mesmo período, a demanda pelos equipamentos de ar condicionado estendeu-se a praticamente todos os edifícios, estando a maior parte da indústria de aquecimento, ventilação e resfriamento, envolvida na instalação de sistemas a edifícios já existentes que originalmente não haviam sido projetados para o uso desses equipamentos de condicionamento artificial. Edifícios escolares começaram a ter ar condicionado, sendo que este processo de adaptação só foi terminado no meio da década de 1970.

Nesta década, equipamentos compactos instalados sobre telhados sofreram grandes evoluções, recebendo unidades aquecedoras, a gás, elétrica ou a óleo. Próximo ao final da década, as unidades compactas de telhado atendendo a múltiplas zonas foram introduzidas. Muitos desses sistemas utilizavam serpentinas de reaquecimento terminal para garantir o controle em cada uma das zonas.

“Fan-coils” com dois tubos sendo alimentados ora por água quente, ora por água gelada já eram comuns. Ganharam grande desenvolvimento os “fan-coils” com quatro tubos, dois para a circulação de água gelada e dois para circulação de água quente. Neste mesmo período, grandes complexos de múltiplos edifícios como campi universitários instalaram sistemas centralizados de distribuição de água gelada gerada por grandes “chillers” centrífugos.

Na década de 1970, praticamente todos os novos edifícios, com exceção de galpões industriais, eram condicionados artificialmente. O controle de

"dampers" foi melhorado permitindo o uso de sistemas de duplos dutos alimentando caixas de mistura. Os grandes "chillers" centrífugos começaram a utilizar o R22 como fluido refrigerante, enquanto o R11 e o R12 permaneceram populares em máquinas de menor capacidade, até 1200 TR.

Sistemas compactos acionados por compressores alternativos se tornaram a escolha mais popular para sistemas com menos de 200 TR.

No ano de 1973 aconteceu a maior mudança na indústria de ar condicionado e nos conceitos de projeto vigentes até então. A crise do petróleo que eclodiu nesse ano (vide detalhes no capítulo 5) fez com que a demanda por sistema de alta eficiência crescesse vertiginosamente. Termos como taxa de eficiência energética (energy efficiency ratio - EER) e outros similares passaram a ser os vocábulos da moda. Durante este período, o custo da energia aumentou aproximadamente 500% durante cinco anos consecutivos. O atendimento às exigências de códigos de conservação de energia tornou-se um ponto fundamental. Sistemas onde, simultaneamente, utilizava-se o aquecimento e o resfriamento de uma mesma zona para fins de qualidade no controle ambiental como sistema de duplo duto ou reaquecimento terminal foram praticamente banidos.

Sistemas novos e mais eficientes sob o ponto de vista da possibilidade de controle das condições internas ou com menor consumo energético, como o volume de ar variável, ganharam popularidade. Diversas instalações antigas passaram por reformas visando a substituição de seus equipamentos centrais por outros de maior eficiência e as taxas de renovação do ar interno foram diminuídas significativamente, resultando no problema hoje conhecido como síndrome dos edifícios doentes devido à recirculação de ar interno e baixa taxa de ar externo "limpo".

O grande crescimento da produção de edifícios comerciais no final da década de 1970 e início da de 1980 impuseram uma grande pressão sobre os engenheiros projetistas de instalações de condicionamento de ar para melhorar a qualidade dos seus sistemas porém, concomitantemente, reduzindo os custos de operação e de instalação. Os códigos de edificações também

tornaram-se mais restritivos, apresentando exigências com relação ao controle de fumaça usando sistemas de ventilação mecânica. Sistemas eletrônicos de controle tornaram-se competitivos com sistemas pneumáticos, permitindo que variadores de frequência, baseados em controles com semicondutores fossem utilizados com sucesso na variação da rotação de ventiladores e bombas de água, tornando os sistemas de volume de ar variável muito mais eficientes, energeticamente.

Em 1985, o Protocolo de Montreal obrigou toda a indústria do ar condicionado a realizar uma revisão drástica de seus produtos. Os fluidos refrigerantes utilizados nos equipamentos de condicionamento foram considerados danosos ao meio ambiente e iniciou-se um processo de identificação de fluidos alternativos e adaptação das máquinas de condicionamento.

Foi constatado também, que aqueles edifícios construídos na década de 1970 como sendo de elevada eficiência energética apresentavam os maiores problemas de qualidade do ar interno. A ASHRAE revisou sua norma de N° 62 (ASHRAE, 1973), aumentando a vazão de ar externo em ambientes condicionados e obrigou a indústria de equipamentos a desenvolver produtos de maior eficiência de forma manter os custos com energia de condicionamento baixos.

Os equipamentos de ar condicionado passaram a exercer forte pressão sobre a capacidade de geração das companhias de distribuição de eletricidade. Tarifações diferenciadas foram criadas para penalizar esses grandes consumidores de energia, fazendo com que sistemas que deslocassem o pico de demanda por energia para fora dos horários de maior custo se tornassem populares, como por exemplo, sistemas de armazenamento de água gelada, sistemas com tanques de gelo, e pequenos sistemas de cogeração in loco.

Hoje, a indústria se encontra em pleno processo de conversão dos equipamentos para novos refrigerantes, que segundo estimativas, deverá se prolongar até a década de 2020 nos EUA. Cresceu o número de estudos visando melhorar a qualidade e a salubridade dos ambientes condicionados,

mantendo-se baixos consumos energéticos. Preocupação com concentração de microorganismos no ar, potencial poluidor dos materiais utilizados nos dutos das instalações de condicionamento de ar, o consumo de energia e o aquecimento global são os temas que têm recebido maior atenção ao longo desta década. O próprio conceito de conforto está mudando. Hoje busca-se fornecer condições satisfatórias para os usuários em seus postos de trabalho, permitindo a cada um realizar o seu próprio controle de temperatura, ao invés de se condicionar o ambiente como um todo.

Hoje, nos EUA, os ocupantes dos edifícios estão demandando um ambiente limpo, praticamente esterilizado, mantido a uma temperatura virtualmente constante, não tendo flutuações maiores que $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em torno do valor especificado e umidade relativa do ar entre 40% e 60%. Se estas condições não são atendidas, normalmente surgem reclamações.

2.3. A evolução do controle das instalações.

2.3.1. No princípio (Os Primeiro 50 Anos)

Antes de 1894, o controle do ambiente na maioria das habitações era feito manualmente. O proprietário da residência imóvel tinha que sair da cama no meio da noite para adicionar carvão nas lareiras. Os ocupantes dos edifícios abriam as janelas quando o espaço fora aquecido demais ou abriam a válvula que regulava a vazão de vapor superaquecido através de radiadores quando estava muito frio. No porão, o operador da caldeira alimentava-a com carvão para manter a temperatura da água ou a pressão do vapor.

O primeiro controle automático para aplicações residenciais ou comerciais foi inventado em 1885. Um termostato bimetálico e um motor acionado à corda controlava a temperatura interna em condições de aquecimento fechando ou abrindo um damper de distribuição e uma fornalha ou uma caldeira acionada a carvão. Por volta de 1890, o primeiro controle acionado a ar (pneumático) foi colocado no mercado.

O assunto "controle automático" foi discutido em 1894 no Primeiro Encontro Anual da American Society of Heating and Ventilating Engineers (atual ASHRAE). Foi discutida a necessidade do uso de "dampers" de mistura associado ao risco de haver a injeção de ar excessivamente frio sobre os ocupantes e a necessidade de válvulas automáticas para controle de fluxo de ar e água em sistemas de aquecimento a vapor. Esses foram temas importantes, pois vivia-se então na transição de sistemas manuais de controle para sistemas automáticos (pneumático). Vale ressaltar a declaração de um dos presentes ao evento, citando a sua desconfiança com relação aos sistemas automáticos: "eu nunca vi uma válvula automática a ar (pneumático) que fosse automática além de um certo tempo". Outros presentes colocavam que "... válvula de ar é um grande problema". A partir destas declarações fica claro que o começo do uso de sistemas pneumáticos foi muito controverso, porém, sistemas de controle pneumáticos tornaram-se os dispositivos básicos de controle de sistemas de ar condicionado até a década de 1970.

Em 1897, R.C. Carpenter (CARPENTER (1897) apud SHAVIT (1994)) apresentou um artigo intitulado "Métodos de Proporcionar Radiação Direta", onde, pela primeira vez, o termo "constante de tempo de ambientes" foi mencionado. Esta constante de tempo é o tempo que leva para a temperatura interna atingir 63% da temperatura desejada para a ocupação. Na discussão de sua apresentação, debateu-se sobre a necessidade de haver uma combinação ou uma intercambiabilidade de um sistema, de modo que pudesse esfriar ou aquecer um edifício conforme o desejo de seus ocupantes. Em uma outra sessão de discussão, os participantes expressaram interesse em um método de controlar automaticamente a quantidade de calor liberada por radiadores de aquecimento. Uma das idéias propostas foi "pegue uma sessão de um trocador de calor e monte nela uma válvula de ar automática". Esta idéia levou ao desenvolvimento do primeiro controlador de zona com um controlador pneumático e um atuador.

A necessidade para controle de temperatura foi apresentada por J.H. Kinealy (KINEALY (1903) apud SHAVIT (1994)) na reunião de 1903. Ele propunha que "a temperatura no interior de um ambiente deve ser função da

atividade de seus ocupantes: pessoas fortes e saudáveis trabalhando em atividades pesadas necessitam de uma temperatura entre 55°F e 60°F (13°C e 16°C), pessoas fortes e sadias trabalhando em condições sedentárias necessitam de uma temperatura de 70°F (21°C); e para pessoas velhas e doentes, a temperatura deve ser superior a 70°F". Ele concluiu que a temperatura interna deveria entre 60°F e 80°F (16°C e 27°C) ao longo do ano, e portanto, havia necessidade de aquecimento no inverno e resfriamento no verão. Ele recomendou que a temperatura do ar interno fosse regulada exclusivamente no dias em que a temperatura do ar externo fosse menor que a temperatura desejada para a sala. Esse mesmo autor também notou que controles automáticos ainda são necessários quando uma única caldeira fornece calor para muitas salas. A sua definição de controle automático era um termostato, o qual estivesse permanentemente ativo, monitorando continuamente as mudanças de temperatura e estivesse sempre apto para acionar ou desligar o fornecimento de calor conforme necessário. Kinealy definiu as condições necessárias para o controle automático:

- fornecer quantidade suficiente de calor durante todo o tempo;
- fazer com que a quantidade de calor fornecida fosse controlada total e exclusivamente pelo sistema de controle;
- não esperar condições plenamente satisfatória de conforto térmico se apenas um termostato é utilizado para controlar várias salas,
- um único ponto de controle para um edifício inteiro é tão ruim quanto um controle manual;
- a indústria deveria produzir equipamentos distintos para habitações e edifícios comerciais;
- deve-se controlar a temperatura do ar e da água fornecidos para aquecimento e ventilação;
- mantenha sempre uma quantidade mínima de ar de renovação;
- possibilite a capacidade de misturar ar quente e frio para satisfazer as cargas das salas;

- tenha certeza que o sistema de controle é estável - oscilação a partir de ar de ventilação do quente para o frio é considerado um sistema liga-desliga de controle;
- use um sistema que permita uma variação gradual na temperatura do ar interno;
- o controle de válvulas de água e vapor deve ser automático;
- economize energia utilizando a habilidade de ligar e desligar a circulação de água quente; e
- mude a temperatura da água quente fornecida em função da temperatura do ar externo.

Pode ser dito que estas regras de controle automáticos tornaram-se os princípios-guias para a indústria de controles durante o período anterior a Segunda Guerra Mundial.

O conceito de sistema de volume de ar variável foi introduzido em 1906 por A.O. Jones (JONES (1906) apud SHAVIT (1994)), usando “dampers” para controlar o fluxo de ar através dos difusores de insuflação. Esses “dampers” eram colocados atrás do difusores. Quando combinados com atuadores e termostatos, esses elementos funcionavam como controladores da zona. Posteriormente, esse conceito foi utilizado para balancear o sistema de distribuição de ar. Essa idéia também tornou-se a primeira tentativa de se realizar aquecimento por zonas nas residências, utilizando um único equipamento central de aquecimento. Com a difusão desta tecnologia de controle por zonas, já, naquela época, surgiram pessoas que se colocaram contra o uso desses dispositivos de controle que poderiam ser utilizados incorretamente e resultariam em fornecimento de quantidade de ar insuficiente para manter as condições de salubridade dos ambientes. Em 1910, MACKAY (1911) apud SHAVIT (1994) reconhece a necessidade de melhor controle das condições de conforto e de ventilação, mas se preocupava que estes dispositivos pudessem ser mal usado em escolas por professores e recomendava a sua eliminação total.

Estratégias de controle para conservação de energia usando o conceito de desligamento do sistema à noite e pré-aquecimento matutino já eram pesquisados na virada do século. Em 1912, J. Donnelly conduziu uma série de testes de radiadores em salas e mediu tempo para que estes alcançassem a condição de regime permanente e usou estas informações para recomendar o desligamento noturno e determinou um ponto ótimo de acionamento (DONNELLY (1912) apud SHAVIT (1994)). Os trabalhos deste pesquisador abrangeram também recomendações sobre estratégias semanais de controle sugerindo que os sistemas de aquecimento fossem acionados, em edifícios comerciais, já aos domingos. Naquela época havia poucos modelos de termostato à disposição para se realizar o projeto de sistema de controle. Contava-se com: termostato liga-desliga, termostato com a possibilidade de definição de um único horário de acionamento para habitações, e termostato com a possibilidade de definição de dois horários de acionamento para edifícios comerciais. O primeiro termostato com ciclos de oito dias e o primeiro damper acionado por motores elétricos foram lançados em 1914.

Em 1915, reconheceu-se que a ventilação não era necessária quando pessoas não estivessem presentes nos ambientes, e também que durante a ocupação parcial dos recintos não era necessário o fornecimento de 100% de ar externo. Winslow e Maglott em 1915, analisaram um grande edifício de escritório visando estabelecer a quantidade adequada de troca de ar necessária para manter os padrões de ventilação em níveis aceitáveis (WINSLOW; MAGLOTT (1915) apud SHAVIT (1994)). Eles mediram o nível de concentração de CO₂ e concluíram que uma concentração acima de 1200 ppm é um nível insatisfatório. Descobriram, ainda, que 10% dos edifícios da época apresentavam concentrações deste gás acima deste patamar.

A primeira crise energética nos Estados Unidos se deu ao final da Primeira Guerra Mundial e durou 3 anos. A redução do fornecimento de carvão gerou as primeiras recomendações de adequação de sistemas e edifícios visando conservação de energia. DeBOOS (1917) apud SHAVIT (1994) recomendou a substituição de válvulas acionadas manualmente em radiadores,

por válvulas diafragma controladas termostaticamente. Estratégia similar foi adotada durante a crise energética de 1973.

A escassez de carvão ajudou a introduzir queimadores a óleo nas habitações, chegando-se mesmo a haver programas de conversão para este sistema de aquecimento. A Segunda geração de queimadores de óleo, foi lançada a partir do meio da década de 1930, tornou-se popular principalmente devido a alterações feitas em seu projeto que introduziram dispositivos de proteção contra incêndio. Esses dispositivos eram providos com válvulas limitadoras de pressão e termostatos para controle da temperatura ambiental.

Em 1918, a ASHVE tornou-se consultora do *Bureau of Mines* dos EUA, sugerindo critérios de projeto do edifício e do sistema de condicionamento ambiental visando a redução do consumo de combustíveis para uso doméstico em sistemas de aquecimento ambiental, com ênfase, principalmente, no consumo de carvão. Tais critérios apresentavam restrições quanto: ao tamanho e as condições de exposição das salas; implantação e classes dos edifícios; método de aquecimento; condições climáticas; qualidade do carvão; disponibilidade de óleo para cozimento de alimentos e para o sistema de aquecimento de água.

Martin, em 1919, apresenta dicas práticas para conservação de carvão (MARTIN (1918) apud SHAVIT (1994)):

- Mantenha seus ambientes a 68°F (20°C);
- Não resfrie a sua casa abrindo demais as janelas – feche os registros de aquecimento nestes momentos de ventilação;
- Isole termicamente os seus aparatos de aquecimento e distribuição de calor;
- Controle a taxa de queimas nas caldeiras através do uso de “dampers”;
- Mantenha a sua fornalha sempre limpa;
- Assegure-se que a combustão seja sempre completa.

Todos estes critérios apresentados pela ASHVE e por MARTIN (1918) apud SHAVIT (1994) são similares aos constantes na norma ASHRAE 90 de 1975 que foi desenvolvida durante a crise de petróleo de 1973.

O primeiro grupo de trabalho montado na ASHVE em 1919 objetivava elaborar recomendações para conservação de carvão através do uso de controle automáticos em sistemas de aquecimento. Suas conclusões apontavam que a instalação de controles automáticos representavam investimentos viáveis economicamente, poderiam contribuir para a conservação de combustível e melhorar as condições de saúde e implementar a produtividade dos funcionários em ambientes de trabalho. Esta comissão recomendava algumas medidas específicas:

- Equipe todas as fontes de calor com controles automáticos;
- Utilize dispositivos de controle para ventiladores ou sistemas de insuflação de ar externo;
- Mantenha fechado os “dampers” de admissão de ar externo durante a noite.

A partir do meio da década de 20 até o meio da década de 30, diversos novos dispositivos foram apresentados ao mercado: programadores elétricos por cilindro de rotação contínua para controle seqüencial (similar ao atualmente utilizado em caixas de música), em 1924; novos bicos atomizadores para óleo que melhoraram a qualidade da combustão, em 1925; o primeiro termostato acionado eletricamente (substituindo o termostato movido à corda), em 1931; e o primeiro sistema misto, elétrico e pneumático, de válvulas, em 1937. O primeiro termostato para aquecedores a gás incluía uma lâmpada piloto para indicar que o queimador estava ativo. Vale ressaltar que a potência gerada pela lâmpada-piloto diretamente sobre o termostato resultava, de forma não intencional, em um sistema de controle do tipo derivativo. O primeiro termostato com uma estratégia de controle derivativa foi lançado em 1949, melhorando significativamente o conforto nas habitações.

Em 1932, RAYMOND; LAMBERT (1930) apud SHAVIT (1994) apresentam três exigências básicas para manter condições satisfatórias de conforto térmico:

- Forneça calor na mesma razão em que se tem perdas térmicas no ambiente;
- Faça com que a distribuição de calor seja equilibrada;
- Evite atrasos e sobre-aquecimentos.

Para atingir estas condições, os sistemas de controle se tornaram um misto de dispositivos elétricos e pneumáticos. O controlador tinha um acionador a base de mercúrio para ligar ou desligar a caldeira geradora de vapor. A temperatura do ar externo e do radiador eram medidas com um sensor de bulbo conectado ao controlado via um tubo capilar e a seqüência de atuação era feita a partir do último radiador na linha de distribuição. Este sistema levou ao zoneamento dos edifícios com um controlador para cada ambiente.

Em 1934, KONZO; HUBBARD (1934) apud SHAVIT (1994) analisaram quatro estratégias de controle diferentes usando quatro diferentes sistemas de controle. Eles definiram um bom controle como aquele que fornecia temperaturas uniformes e constantes, fosse ajustável, fosse simples de operar, fosse apto a atender demandas repentinas, requisesse um mínimo de ajuste a partir de seus proprietários, e que fosse seguro. Essas mesmas características continuam sendo desejáveis ainda atualmente. Vale citar que este trabalho foi o primeiro esforço visando a comparação de diferentes estratégias de controle para uma mesma aplicação.

Com a evolução da tecnologia do controle, foram realizados diversos estudos para determinar o melhor posicionamento de termostatos em habitações e edifícios comerciais. Em 1936, Wile propôs um dispositivo para avaliar desempenho de termostatos (WILE (1936) apud SHAVIT (1994)) e Kranz e Konzo em 1938, investigaram o melhor posicionamento para o termostato em habitação usando um ventilador de dupla velocidade e tentando otimizar o número de ciclos liga-desliga durante uma hora (KRANZ; KONZO

(1938) apud SHAVIT (1994)) Na década de 30 foram lançados diversos novos produtos inovadores na área de dispositivos pneumáticos.

2.3.2. O período após a Segunda Guerra Mundial

A tecnologia desenvolvida para auxiliar o esforço de guerra tornou-se útil para o controle ambiental. Algumas das principais contribuições foi a introdução de dispositivos de modulação elétrica baseada em Pontes de Wheatstone, o uso extensivo de termopares para medida de temperatura e início de uso de computadores analógicos para análise e simulação do comportamento de sistemas de controle.

Em 1946, PARMALEE; HUEBSCHER (1946) apud SHAVIT (1994) analisaram o uso de termopares como elementos sensores nos sistemas de controle ambiental e o efeito da radiação sobre a resposta dos mesmos. O uso de termopares possibilitou a realização do monitoramento remoto da temperatura dos ambientes e do processo de condicionamento ambiental. Estes dispositivos, juntamente com sistemas de pneumáticos locais, e a possibilidade da mudança remota em "set-points", possibilitaram a criação do primeiro sistema centralizado de controle instalado na Casa Branca em 1950. Todos os sensores e pontos de medição transmitiam seus sinais para um painel central de controle. Era possível se verificar a temperatura dos ambientes, o acionamento ou desligamento de qualquer equipamento e a alteração remota de "set-points". A introdução de termopares trouxe dois problemas: o ruído elétrico nos sinais devido à sua baixa magnitude (da ordem de μV ou mV) e problemas relativos à manutenção da temperatura da junta de referência constante. Uma variedade de técnicas de filtragem foi utilizada para eliminar e separar o sinal do ruído. Esses problemas permaneceram até o começo da década de 1970, quando novos sensores foram introduzidos, junções eletrônicas de referência para termopares foram desenvolvidos e foram multiplexados em painéis locais de controle.

Em 1947, Hutchinson estudou "a resposta e o atraso no controle de sistemas de aquecimento do tipo painel radiante" (HUTCHINSON (1947 apud

SHAVIT (1994)). Ele testou quatro tipos diferentes de controle: liga-desliga; um controle do tipo proporcional em função da temperatura interna; um controle do tipo proporcional porém com sinal de entrada a partir do termostato que determina a temperatura da água que deixa uma válvula de 3 vias, utilizada para a alimentação do painel; e um esquema baseado na modulação da vazão de água do painel tomando como sinal de entrada a temperatura do ar externo.

Na década de 1950, termostatos capazes de programar modulações do sinal de saída associados a períodos de tempo foram usados visando reduzir custos de instalação. Em 1953, termostatos acionados por baixa voltagem, com possibilidade de acionamento para ventiladores, válvulas de serpentinas de aquecimento e resfriamento foram introduzidas para aplicações residenciais e em pequenos edifícios. Também, em 1953, pela primeira vez, foi publicado um capítulo dedicado ao tema controle no documento hoje nomeado ASHRAE Handbook. Ainda no mesmo ano, SNYDER;LOCKE (1953) apud SHAVIT (1994) introduziram sistemas de controle mais avançados que consideravam a temperatura do ar externo, a incidência de radiação solar, a incidência de vento, as características da edificação e de sua ocupação.

Em 1957, GRANT (1957) apud SHAVIT (1994) identificou, em um artigo, os seguintes progressos ao longo do período de 1936 a 1956, na área de controle ambiental:

- Aumento da sensibilidade dos termostatos e controladores;
- Controle mais refinado do posicionamento de válvulas e de “dampers”;
- Melhor dimensionamento e projeto de válvulas de controle;
- Redução no tamanho e aumento na potência de atuadores de “dampers” e válvulas;
- Melhora do aspecto visual dos termostatos e sensores de controle ambiental;
- Disponibilidade de uma grande variedade de dispositivos de controle;

- Melhor entendimento das técnicas de condicionamento ambiental, resultando numa melhor seleção de dispositivos de controle, os quais resultaram em melhor controle de temperatura e umidade;
- Uma tendência à possibilidade de controle individual em cada ambiente;
- Admissão automática de ar externo para economia de energia em sistemas de resfriamento;
- Modulação da atuação do sistema de condicionamento em função da temperatura externa e da radiação solar;
- Melhoria na sensibilidade, exatidão, simplicidade e confiabilidade nos dispositivos de controle devido à introdução de sinais elétricos nesses dispositivos;
- Uso em larga escala de dispositivos de controle e indicadores remotos estimulando o uso de centros de controle de dados; e
- Melhoria nas técnicas de manufatura, inspeção e ensaios na produção dos dispositivos de controle, aumentado assim, a sua confiabilidade e reduzindo os custos de manutenção.

Nas décadas de 1950 e 1960, verificou-se desenvolvimento significativo nas áreas de pneumática, eletrônica e sistemas de controle centralizados. Tubos de chumbo ou de aço galvanizado utilizados para a distribuição de ar comprimido foram substituídos por tubos de cobre e, posteriormente, por tubos plásticos, revolucionando a indústria de controle pneumático devido a uma redução brutal de seus custos, generalizando o seu uso. Quando o sistema de diafragma substituiu o complexo sistema de acionamento de válvulas atuados por foles, e posteriormente, por "dampers" motorizados, permitiu-se uma grande redução de custos e os controles pneumáticos passaram a ser utilizados com maior intensidade nas edificações.

O maior desenvolvimento no sistema de controle pneumático ocorreu em 1963, quando os sensores baseados em bulbos contendo vapor e líquido foram substituídos por sensores remotos, também de natureza pneumática, com saída variável entre 3 a 15 psi (0,2 a 1,1 kgf/cm²). O sensor de

temperatura bimetálico acionava um defletor no difusor e sensores colocados nas linhas de água e nos dutos de ar eram baseados em um eixo de invar, montado em um tubo de latão que operava o defletor do difusor. Este sensor remoto desacoplou o sensor do controlador e permitiu a instalação de toda a parte lógica do controle em um painel, somente com os sensores e atuadores posicionados próximos ao processo.

Por outro lado, buscou-se duplicar os sistemas de controle pneumáticos através do uso de circuitos e componentes eletrônicos. Entretanto, o sucesso obtido nas habitações pelos termostatos elétricos não foi repetida nos grandes edifícios onde foram empregados controladores que modulavam o sinal elétrico de saída usado no acionamento dos processos. Os sensores eram bulbos de resistência e os atuados eram motores elétricos, tendo seu sinal de controle modulado através de Pontes de Wheatstone. Esse sistema de controle era muito mais caro que o sistema de controles pneumáticos e apresentava menor confiabilidade.

Ainda na década de 1960, verificou-se um crescimento do uso de sistemas centralizados de controles. Os diversos sensores espalhados pelos ambientes eram multiplexados, usando-se motores de passo utilizados em centrais de comutação telefônica e, posteriormente, substituídos por relês de palheta. Aplicações foram desenvolvidas para multiplexar até 1000 termopares e exibir telas com as medidas de grupos destes termopares em função do desejo do operador. Neste mesma época verificou-se, também, a introdução de computadores digitais como parte do sistema de controle centralizado. O primeiro computador off-line foi utilizado em 1963 em Houston, no edifício TENNECO. O primeiro computador on-line foi introduzido em 1967, em Dallas, Texas, no edifício One Main Place. O sistema tinha o primeiro conjunto de algoritmos visando a conservação de energia como emprego de técnicas de controle entálpico, uma seqüência de atendimento de demandas de energéticos, seqüência ótima de liga-desliga, redefinição de condições ambientais a partir da zona de mais alta demanda, otimização do desempenho do "chiller", e alteração das condições internas durante a noite. Em 1969, no edifício do FMI em Washington também foi instalado um computador "on-line"

com circuito de controle do sistema de condicionamento ambiental visando limitar a demanda por eletricidade.

A introdução de sistemas de controle centralizados, totalmente eletrônicos, baseados em tecnologia de semicondutores (transistores), na década de 1970, revolucionou o mercado. A multiplexação dos sinais era feita em painéis de controle remotos que se comunicavam com uma estação central de controle por cabos dedicados de comunicação de dados. Estas centrais, por sua vez, processavam o sinal recebido e enviavam uma resposta para os painéis remotos que geravam o sinal de controle para o processo. Uma central controlada totalmente por "softwares" foi desenvolvida em 1972. Esses sistemas foram usados também para alterar os "set-points" de "loopings" de controle pneumático independentes, reduzindo, assim, a mão-de-obra necessária no processo.

A Segunda crise da energia, em 1973 (a primeira crise do petróleo), foi um elemento que alavancou o desenvolvimento da indústria do controle. Algumas práticas antigas voltaram a ser adotadas, como a mudança do "set-point" dos termostatos durante o período noturno (período onde o edifício não está ocupado) e mesmo a adoção de novos limites de conforto para o período ocupado. Nesta mesma época surgiu a tendência de se fazer adaptações a edifícios existentes, tendência esta que continua muito forte até os dias de hoje. O primeiro sistema de controle automático baseado em microprocessadores surgiu em 1975, onde algoritmos para conservação de energia estavam gravados nos próprios microprocessadores. Detalhes de configuração eram feitos no próprio local, via teclado, ou algoritmos específicos poderiam ser feitos pelo engenheiro responsável pelo controle do sistema de condicionamento de ar no escritório e, depois, gravado diretamente nesses controladores.

A partir de 1978, o uso desses microprocessadores foi aumentado deixando de ser somente empregados na estação central de controles, e passando a ser utilizados também nos painéis remotos, formando verdadeiras sub-redes de comando. Nestes sistemas de controle também foram

introduzidas funções visando o controle de acesso de pessoas a locais restritos e alarmes contra incêndio. O primeiro termostato baseado em tecnologia digital microprocessada para aplicações domésticas foi lançado em 1981. Ele possuía um “display” de cristal líquido permitindo a definição de horários, temperaturas e cronogramas de operação e um menu de fácil programação.

O controle direto digital, quando introduzido em 1981, se tornou o competidor dos controles pneumáticos locais que até então, durante os últimos 90 anos, foram o sistema básico utilizado. Controladores do tipo PID baseados em microprocessadores com algoritmos residentes foram introduzidos, porém, tiveram uma aceitação inicial pequena pois processavam todos os sinais internamente, dando muita pouca informação ao engenheiro que controlava a instalação. Contudo, sua flexibilidade e alta eficiência fez com que ele fosse rapidamente incorporado aos novos projetos, tornando-se um elemento padrão a partir de 1985.

A tecnologia de microeletrônica auxiliou na redução de dimensões deste tipo de controle, surgindo, em 1986 a 1987, controladores portáteis capazes de controlar cada uma das zonas condicionadas individualmente. Uma característica que fez estes controladores eficientes foi a introdução de sensores de velocidade do ar baseados em técnicas de anemometria de fio quente. A maioria dos sistemas de volume de ar variável usavam estes sensores para fazer o controle das condições internas na zona independentemente das variações de pressão. Estes controladores se comunicavam por um bus de dados com o sistema controlador do ventilador para fornecer informações completas a partir da zona para o sistema centralizado de controle.

A indústria gastou os últimos 10 anos (até o final de década de 1990), desenvolvendo o conceito de controle distribuído. Hoje, os microprocessadores são a base para qualquer controlador. Tornou-se a interface com o usuário cada vez mais amigável, passou-se a utilizar microcomputadores como elemento básico de processamento de dados centralizado e há uma tendência atual de emprego de técnicas multimídia para melhorar, ainda mais, a

familiaridade do operador com o sistema que está sendo controlado. Na Foto abaixo é apresentada uma vista da mesa de operação e supervisão do sistema central de ar condicionado da Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA) onde todos os sinais de termostatos, posição de válvulas, vazões, etc. usados para o controle do equipamento são enviados.

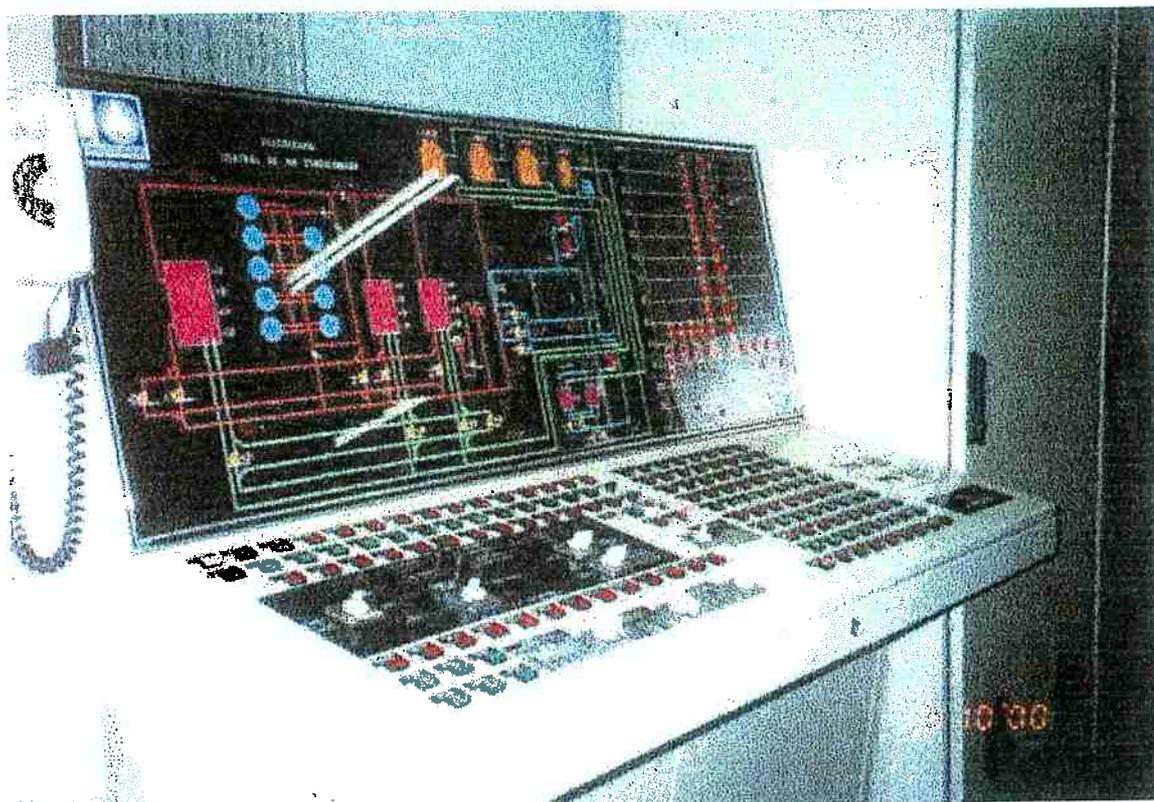


Foto 1: Vista da mesa de operação e controle do sistema de ar condicionado da BOVESPA.

2.4. Comissionamento das Instalações (Commissioning)

Recentemente, começou a ganhar força no mercado brasileiro o conceito do "commissioning" das instalações de ar condicionado que consiste em se fazer um acompanhamento "fino" do processo de construção desta a fim de garantir que ela seja executada conforme projetado, dando ênfase às características que mais afetam o desempenho de uma instalação de condicionamento.

A *Air Conditioning Contractors of America (ACCA)*, define a atividade de “commissioning” como sendo composta pelas seguintes ações:

- Verificar a conformidade de todos ciclos de controle, com relação a ajuste de “set-points” e conformidade da resposta de atuadores com relação a eventos externos;
- Verificar a carga do fluido refrigerante;
- Verificar a estanqueidade de conexões, contactos elétricos, estado de linhas de fornecimento de energia elétrica e combustíveis, desobstrução de aberturas para tomada de ar;
- Medir e ajustar o fluxo de ar em unidades de distribuição (“fan-coil”) e nas salas – balanceamento da instalação;
- Instruir o responsável pela operação da instalação sobre todo o sistema e o equipamento central, fornecendo manuais dos equipamentos.

Além de servir como uma atividade que dará segurança ao proprietário da instalação que esta irá trabalhar conforme projetado, servirá também para se ter uma documentação desta no estado que ela foi efetivamente construída (“as built”), criando assim uma documentação importante para atividades futuras de manutenção.

2.5. Análise da visão dos projetistas.

O projeto de instalações de ar condicionado sempre recebeu, por parte dos projetistas modernos, uma atenção muito grande no que se refere aos equipamentos e às demais partes “concretas”, tendo a satisfação do usuário, expressa por faixas de temperatura e umidade, como um “dado de entrada” em suas atividades. Exemplo disto, são os preceitos apresentados anteriormente, onde a sua maior parte falam de como operar o sistema, bem como as atividades de “comissioning”.

Tal atuação pode ser justificada até por aspectos culturais, que permanecem até hoje e estão refletidas em códigos obras. Era comum dizer-se

como deve ser feito ou apresentar características finais do produto, sem apresentar referência ao seu desempenho. Esta forma de agir, quase sempre consagrava formas tradicionais de construir, sem permitir a adoção de inovações e, principalmente, sem garantir condições satisfatórias aos usuários finais do edifício ou de seus sistemas. Estes códigos e práticas normalmente são classificados como prescritivos.

Outra característica comum a estes códigos prescritivos, e que, provavelmente, é o grande elemento impulsionador à sua adoção é a facilidade em verificar o seu atendimento. Em geral, tais códigos apresentam valores de simples mensuração, como espessura de paredes, diâmetros de tubulações, descrição de termos que devem estar impressos em embalagens, etc.

Porém, estes códigos vem sendo substituídos por outros ditos de desempenho que apresentam as características que os sistemas sob regulamentação devem propiciar ao usuário. Estes códigos de desempenho vem ganhando espaço em termos mundiais, apesar de, em geral, utilizarem parâmetros de difícil mensuração e avaliação, mas tenta, acima de tudo apresentar parâmetros que expressam a satisfação do usuário.

Entretanto, do histórico acima apresentado, pode-se destacar os seguintes aspectos para integrarem a sistemática apresentada.

- Definição de condições satisfatórias de conforto térmico;
- Possibilidade de manutenção de forma estável das condições ambientais internas estabelecidas. Atualmente, com o uso intensivo de dispositivos eletrônicos de controle a manutenção da estabilidade deixa de ser um problema, passando-se a dar atenção à possibilidade de controle das condições internas por parte do usuário;
- Possibilidade de controle fino das condições internas. Isto foi materializado muitas vezes com sistemas de reaquecimento terminal, que produzem controle fino da temperatura, porém são grandes consumidores de energia, aspecto este somente considerado com cuidado durante as crises do petróleo;

- Preocupação com gasto de energia. Esta preocupação aparece após as sucessivas crises do petróleo, chegando em determinados momentos a sobrepujar a preocupação com a qualidade do ar interno;
- Preocupação com a qualidade do ar interno, retomada com o surgimento da síndrome dos edifícios doentes.

A evolução histórica mostra que os tópicos acima citados nunca foram abordados de forma homogênea, sempre dando-se ênfase a um aspecto de detrimento de outros, estando, com o acúmulo de experiência, somente, atualmente, a condições de equilíbrio.

3. Sistemáticas para avaliação

Sistemáticas modernas empregadas, de forma eficiente, na avaliação de um sistema ou produto são compostas por indicadores, sejam eles representados por escalas discretas ou por escalas contínuas.

Avaliar um produto ou serviço é hoje uma tarefa rotineira na vida das pessoas seja da maneira mais simples, por exemplo ao se comprar uma fruta, ou de maneira detalhada, quando emprega padrões de comparação compostos por sistemas complexos. Alguns padrões são de natureza absoluta, caracterizados por valores bem definidos, outros são de natureza subjetiva como padrões de beleza. Algumas avaliações são feitas com relação às escalas absolutas, outras tem caráter relativo, expressando um grau de satisfação se for superado o desempenho de um sistema concorrente.

Dentro desta gama de possibilidades, a sistemática a ser proposta para a avaliação das instalações de condicionamento de ar serão baseadas em aspectos não subjetivos, que possam ser reproduzidos em diversas situações, sem a introdução de vieses pessoais.

Indicadores são essenciais ao planejamento e controle dos processo, pois possibilitam o estabelecimento de metas quantificadas e o seu desdobramento nos integrantes do processo e ferramentas fundamentais para replanejamentos e tomadas de decisões. Entende-se aqui como indicadores valores numéricos que caracterizam o desempenho de um produto ou processo, como por exemplo a nota de um aluno em um exame acadêmico ou a produtividade média de uma empresa em turnos específicos de produção.

Neste sentido, a sistemática proposta para avaliação do desempenho das instalações de ar condicionado será composta por vários indicadores, denominados como pontuações técnicas, aproveitando-se de algumas experiências já realizadas em outros países, conforme discutido a seguir.

3.1. Indicadores da qualidade e de desempenho

Segundo JURAN (1988), o desempenho de um processo ou produto pode ser medido por indicadores de caráter geral, relativos ao comportamento do consumidor em voltar a adquirir o produto/serviço ou à lucratividade da empresa ou mesmo tendo como base o número de reclamações que são encaminhados a serviços de atendimento ao cliente. Porém, estes indicadores estão longe de fornecerem dados aos projetistas que auxiliem no desenvolvimento dos produtos/serviços ou que meçam mais diretamente a satisfação de consumidores com o rendimento destes produtos/serviços.

TAKASHIMA; FLORES (1996) discutem as características que são necessárias para que indicadores da qualidade e/ou de desempenho de produtos/serviços devam ter para serem úteis. Desta discussão, ressaltam-se os aspectos transcritos na Tabela 1.

Especificamente para instalações de ar condicionado não foi encontrado nenhum indicador que as enfocassem isoladamente, mas sempre em conjunto com o resto do edifício, em normas ou regulamentações de conservação de energia.

O índice de avaliação de desempenho proposto em 4 terá como base estes aspectos.

3.2. O selo “Energy Star”

Um primeiro exemplo de sistemática de avaliação integrada de desempenho energético de instalações de condicionamento de ar com o edifício é o selo “Energy Star”, que já é largamente utilizado em produtos eletro-eletrônicos.

Tabela 1: Principais critérios a serem considerados para geração de um indicador.

Crêterios	Descri�o
Seletividade ou <i>importância</i>	Capta uma característica-chave do produto ou do processo.
Simplicidade e clareza	Fácil compreensão e aplica�o em diversos níveis da organiza�o, numa linguagem acessível.
Abrangência	Suficientemente representativo, inclusive em termos estatísticos, do produto ou do processo a que se refere: devem-se priorizar indicadores representativos de situa�o ou contexto global.
Rastreabilidade e acessibilidade	Permite o registro e a adequada manuten�o e disponibilidade dos dados, resultados e memórias de cáculo, incluindo os responsáveis envolvidos. � essencial � pesquisa dos fatores que afetam o indicador. (Os dados podem ser armazenados em microfilme, meio eletromagnético, relatórios, etc.).
Comparabilidade	Fácil de comparar com referenciais apropriados, tais como o melhor concorrente, a média do ramo e o referencial de excelência.
Estabilidade e rapidez de disponibilidade	Perene e gerado com base em procedimentos padronizados, incorporados às atividades do processador. Permite fazer uma previsão do resultado, quando o processo está sob controle.
Baixo custo de obten�o	Gerado a baixo custo, utilizando unidades adimensionais ou dimensionais simples, tais como percentagem, unidades de tempo etc.

A EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) criou um procedimento específico para conceder um selo de alta performance energética para edifícios de escritórios, tendo como base a energia que é consumida, dividida por tipo de energético, oriundo de fontes externas ao sítio em que está localizado o edifício. Qualquer edifício de escritórios com as seguintes características podem se candidatar ao selo:

- Tamanho Total Mínimo de 464,5 m² (5.000 p s quadrados)
- No mínimo 50% da área total do edifício deve ser destinada para seu uso primário (escritório), com não mais que 49% da área total como espaço de uso secundário (centros de processamento de dados, lojas, garagens cobertas, etc.)

- Não mais que 10% de área de piso total podem ser usadas como salas de processamento de dados com sistema de condicionamento térmico exclusivo;
- A área dos espaços para lazer não pode não exceder 20% da área destinada às atividades principais do edifício (escritórios);
- Os espaços de uso primário devem ocupados durante, pelo menos, 30 horas por semana;
- O edifício deve operar no mínimo por 11 meses por ano;
- O edifício deve consumir eletricidade.

A concessão do selo é feita com base nos consumos energéticos mensais de um período de 12 meses (valores obtidos nas contas mensais dos fornecedores destes energéticos, como por exemplo energia elétrica, gás, etc.)

A escala apresentada tem fundo de escala em 100 pontos, sendo concedido o selo aos edifícios que tenham uma performance superior a 75 pontos, que indica que o edifício tem uma performance superior a 75% dos prédios de natureza e características similares.

Uma pontuação de 37 indica que o referido edifício tem um desempenho energético superior a apenas 37% dos edifícios similares ao sob análise.

É interessante ressaltar que, embora a EPA, seja uma agência com forte atuação na área de qualidade do ar interno, o seu índice não considera as condições ambientais internas, exigindo que avaliadores externos garantam o cumprimento das especificações nas Normas ANSI/ASHRAE 55 e 62 e os níveis de iluminância exigidos pela IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) .

Com relação à poluição atmosférica, as exigências apresentadas impõem que: as máximas taxas de emissão de CO₂, SO₂ e NO_x desprendidos na geração de energia elétrica tanto consumindo petróleo como consumindo gás natural devem atender os limites estaduais e/ou federais.

Entretanto, não são computadas as emissões de vapor d'água, propano, carvão, querosene ou outras fontes de energéticos, o que, a primeira vista, não é coerente com a postura de uma agência de preservação ambiental.

Os dados utilizados para a construção da escala de avaliação foram obtidos de um levantamento nacional realizado pelo Departamento de Energia dos EUA, analisando estatisticamente os resultados obtidos, ponderando-os segundo as características físicas do edifício, padrões de uso e ocupação. Os dados de consumo de eletricidade foram fornecidos pelas companhias de distribuição.

No site da EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) não são apresentadas as tabelas e dados de referência necessários à aplicação do procedimento completo, estando apresentados apenas o conceito geral.

A distribuição das freqüências de ocorrência dos consumos de energia, usados como referência, foi obtida a partir de estudos estatísticos desenvolvidos com dados relativos a aproximadamente 2000 edificações, de vários portes, obtidos junto às empresas distribuidoras de energéticos e normalizados em função das condições climáticas daquele período.

Um estudo deste porte, no momento, no Brasil, é quase que inviável, dada a quase total indisponibilidade de dados climáticos tratados de modo sistemático, apesar de os consumos de energia elétrica poderem ser obtidos com alguma facilidade junto às empresas de distribuição.

Outro aspecto a ser considerado é que, esta sistemática tem só uma variável para avaliação que é o consumo energético, impondo o atendimento de exigências de outras normas e legislações, sendo que a verificação ao atendimento é feito por meio de relatórios de terceiros, que podem ter interpretações não homogêneas das referidas normas.

Contudo, é possível aproveitar o conceito de economia de energia que está embutido na distribuição de pontuações da EPA. Este conceito faz com que um edifício que esteja com consumo de energia igual à média (50 pontos)

para atingir o limite de 75 pontos para a concessão do selo “energy star” tenha que melhorar a sua performance energética em aproximadamente 50%. Outro ponto positivo é a consideração dos aspectos “conforto térmico”, “qualidade do ar externo” e “qualidade do ar interno” na avaliação.

3.3. A escala do BRE

As únicas publicações que tratam de um sistema predial, no caso o próprio edifício, atribuindo pontuações técnicas a aspectos de desempenho, foram editadas pelo Building Research Establishment (BRE, 1991a, b, c) visando o estímulo à produção de edificações que causassem baixo impacto ambiental. Impacto este tanto no nível de meio ambiente, como da vizinhança da edificação, como do ambiente interno aos recintos. A série é composta por 3 volumes, cada um dedicado a um tipo de edificação, a saber:

- Edifícios de Escritórios;
- Habitações; e
- Supermercados.

Estas publicações tratam de diversos aspectos porém não esgotam o assunto, assumindo, no seu final, que há vários outros aspectos relevantes que devem ser contemplados, mas que no momento, não se tem base científica para sua avaliação.

Os aspectos considerados são:

- Agressão ao meio ambiente:
 - ❖ Produção de CO₂;
 - ❖ Potencial de produção de chuva ácida produzida por emissão de NO_x e SO₂;
 - ❖ Destruição da camada de ozônio devido a CFCs e HFCs usados em equipamentos de resfriamento térmico e sistemas de combate a incêndio (“halons”);
 - ❖ Uso de recursos naturais e materiais reciclados;

- ❖ Armazenamento de materiais recicláveis.
- Vizinhança da Edificação
 - ❖ Doenças causada pela Legionella a partir de torres de resfriamento;
 - ❖ Modificação do escoamento do vento;
 - ❖ Ruído;
 - ❖ Sombreamento do edifício sobre o terreno e edificações ao redor;
 - ❖ Economia de água;
 - ❖ Valor ecológico do terreno;
 - ❖ Instalações para ciclistas.
- Aspectos relativos ao ambiente interno
 - ❖ Doenças causada pela Legionella a partir de sistemas domésticos de abastecimento de água;
 - ❖ Ventilação, fumo passivo e umidade;
 - ❖ Materiais perigosos (combustíveis e explosivos);
 - ❖ Iluminação;
 - ❖ Conforto térmico e sobreaquecimento;
 - ❖ Ruído interno.

Nas escalas para concessão de pontos, são estabelecidas várias metas para cada aspecto que, quando são atendidas, dão pontos créditos ao edifício. Por exemplo, se a taxa anual de emissão de CO₂ de edifícios de escritórios for menor que 120 kg/m² de área de piso, o edifício recebe 1 crédito, se este valor for menor que 110 kg/m² o edifício recebe 2 créditos e assim sucessivamente até obter uma pontuação máxima ao se atingir o “fundo da escala”.

Observe-se que diversos dos aspectos considerados são típicos de países frios onde o uso de sistemas de aquecimento é significativo. Outro aspecto a ser ressaltado nesta publicação é o grande volume de dados que se dispõe sobre as edificações britânicas, que permitiu o estabelecimento de várias das escalas. Ainda exemplificando, sobre a taxa de emissão de CO₂, o

texto indica que os valores relativos à concessão de 1 a 3 créditos correspondem à emissão média da maior parte dos edifícios de escritório daquela nação.

Contudo, este é um bom exemplo de sistemática abrangente, com exemplos de vários indicadores de desempenho. A própria forma de concessão de pontos técnicos para a edificação, que é a simples somatória de créditos obtidos em cada quesito, será adotada pela sua facilidade de interpretação e ter, embutido, já uma escala de ponderações da importância relativa do valor dos diversos quesitos.

3.4. Informações da ACCA

A ACCA (AIR CONDITIONING CONTRACTORS OF AMERICA) estabelece algumas exigências prescritivas para classificar como “bom” um instalador (“contractor”) de ar condicionado. Algumas destas exigências também podem ser feitas diretamente às instalações por eles produzidas e são apresentadas a seguir, já devidamente re-orientadas para as instalações:

- Atender às expectativas do usuário de climatização ambiental;
- Serem projetadas corretamente, utilizando de maneira adequada as inovações tecnológicas adequadas a fim de que a instalação seja eficiente e confiável;
- Atender às exigências legais e técnicas locais;
- Estarem sempre operacionais;
- Não devem ser produzidos ambientes que sejam muito secos ou com alta velocidade de ar no inverno e nem muito quente e abafados no verão;
- O ambiente interno deve ter ar de boa qualidade, livre de contaminantes produzidos internamente, oriundos de resinas orgânicas ou vapores, com umidade adequada e renovada adequadamente;

- A instalação deve utilizar os fluidos refrigerantes (CFC ou HFC) de menor potencial de agressividade possível à atmosfera;
- A instalação deve possuir um manual de operação e manutenção preventiva;

Estas exigências apesar, de terem caráter prescritivo, sem introduzir escalas ou fatores de ponderação são um bom roteiro para o estabelecimento dos itens que integrarão a sistemática a seguir proposta, uma vez que todos os tópicos acima citados, a menos da obrigatoriedade de existir um manual estão contemplados na sistemática alvo da tese.

3.5. Aspectos adotados

Das duas sistemáticas de avaliação acima citadas, verifica-se que há uma preocupação conjunta entre conforto térmico, conservação de energia, qualidade do ar interno e impacto ambiental causado pela edificação e ou suas instalações. A escala de avaliação do BRE pontua todos os aspectos avaliados, enquanto a escala proposta pela EPA avalia apenas o desempenho energético, admitindo que os demais aspectos exigidos são atendidos, sem se preocupar em que grau ocorre este atendimento.

Destas informações, será aproveitado o conceito apresentado pelo BRE de somatória de pontuações técnicas para os diversos aspectos considerados, pela facilidade de execução e de entendimento do que um valor como este representa, além de possibilitar a comparação de várias alternativas de projeto.

4. Esboço da sistemática proposta

Conforme citado na introdução, a sistemática proposta deverá possibilitar que o usuário possa analisar o resultado de uma avaliação da instalação de condicionamento de ar de uma forma simples. Neste sentido, um valor total de pontuação técnica oriunda da somatória de créditos obtidos por bom desempenho em cada quesito atende o caráter de simplicidade.

Além de permitir a fácil interpretação do resultado, a sistemática esta baseada nas seguintes premissas:

- Ser abrangente, considerando todos os aspectos importantes para o usuário;
- Permitir realizar avaliações que ressaltem as diferenças significativas entre várias opções de instalação;
- Minimizar a subjetividade na avaliação;
- Ser reprodutível, ou seja não apresentar resultados diferentes segundo a pessoa que a utiliza;
- Explicitar os pontos que devem ser aprimorados ou corrigidos em instalações.

Estes pontos técnicos refletem uma forma de avaliação híbrida, sendo ela relativa em alguns aspectos e absoluta em outros aspectos. Entende-se por relativa quando o aspecto é analisado tendo como base o comportamento verificado em uma outra instalação dita de referência. Chamei de absoluta aquelas situações em que o aspecto é analisado contra exigências estabelecidas em escalas que não são definidas em função da resposta de outras instalações. Este caráter híbrido dará maior abrangência e flexibilidade à sistemática proposta.

Os aspectos que podem ser chamados de relativos são:

- Performance do equipamento e Consumo de energia

- Custos e Análise Econômica.

Os aspectos que podem ser chamados de absolutos são:

- Condições internas
 - ❖ Temperatura, Umidade e Velocidade do ar.
 - ❖ Qualidade do ar.
 - ❖ Ruído no interior dos recintos.
- Impacto Ambiental
 - ❖ Agressividade do Refrigerante Utilizado ao Meio Ambiente.
 - ❖ Rejeitos de Combustão em Instalações de cogeração.
 - ❖ Ruído produzido pela instalação.
- Projeto físico da instalação: Manutenção e instalação básica.

4.1. Aspectos que comporão a sistemática.

A importância de cada um destes que comporão a sistemática será discutida seguir, sendo analisados detalhadamente em capítulo específico.

4.1.1. Condições ambientais.

Dentre as características a serem avaliadas de uma instalação de ar condicionado, sem dúvida, as condições ambientais internas por ela produzidas são as mais importantes, uma vez que são o motivo básico de existência do equipamento de condicionamento ambiental.

Dessas características, as primeiras consideradas, historicamente, foram aquelas que afetam a sensação de conforto térmico, passando-se, em seguida, a se preocupar com o nível de ruído gerado pelo equipamento e, só bem mais recentemente, levou-se em conta a qualidade do ar do ambiente condicionado. A qualidade do ar, aliás, está sendo o tema mais estudado nos últimos anos, associado à chamada do síndrome dos edifícios doentes.

Outro tema que tem despertado grande interesse é o efeito das condições ambientais internas sobre a produtividade humana em edifícios de escritório. CLEMENTS-CROOME; BAIZHAN (2000) apontam, a partir de estudos realizados no Reino Unido, que podem ser conseguidos aumentos de produtividade, nesses ambientes, entre 4% e 10%, tomando as condições de conforto térmico melhores, diminuindo a excessiva proximidade entre as estações de trabalho e eliminando a síndrome dos edifícios doentes.

WARGOCKI et. Alli (2000) apresentam os resultados de 3 estudos independentes, realizados com 90 pessoas, utilizando métodos similares, mostrando que melhorando a qualidade do ar (via o decréscimo da concentração de poluentes/ contaminantes) pode-se conseguir aumento na produtividade de atividades típicas de escritório (digitação, conferência de textos, etc.). Foram feitos testes estatísticos mostrando que, com alto nível de confiança (maior que 90%), há relação entre o nível de contaminantes e a produtividade. Os dados obtidos mostram aumentos de produtividade de 1,5% quando a taxa de insatisfeitos com a qualidade do ar diminui em 10%, dentro da faixa de 25% a 70% de insatisfeitos.

FISK (2000) apresenta valores extremamente elevados para potenciais de economia que podem ser conseguidos, nos EUA, com o aumento da produtividade humana devido à melhoria das condições ambientais internas. Devido à redução de gastos com doenças respiratórias, estima-se que podem ser economizados de 6 a 14 bilhões de dólares/ano. Com problemas de alergia e asma, esta economia pode ser de 2 a 4 bilhões de dólares/ano; e, ainda segundo este autor, o aumento de produtividade pode atingir de 20 a 160 bilhões de dólares/ano.

4.1.2. Síndrome dos edifícios doentes

Principalmente o conceito de "edifício doente" merece destaque pois este fenômeno está intimamente relacionado às instalações de condicionamento de ar.

Nas últimas duas décadas, a preocupação com a salubridade e o bem-estar de ocupantes de edifícios tem aumentado intensamente, principalmente nas denominadas nações desenvolvidas. Os pesquisadores e profissionais que trabalham com estes temas passaram a se defrontar com a chamada "Síndrome dos edifícios doentes" (SED). Uma situação que era definida pelo CIB (1997) como *"um conjunto variado de sintomas, experimentado predominantemente por pessoas trabalhando em edifícios com ar condicionado"*.

Os sintomas manifestados, na maior parte dos ambientes/edifícios onde está síndrome foi assinalada, foram:

- Manifestações nasais (escorrimentos, irritação, entupimentos, etc.);
- Manifestações oculares (secura/irritação dos olhos);
- Manifestações orofaringenais (secura/irritação da garganta);
- Manifestações cutâneas (rachaduras de pele, irritações);
- Outras manifestações gerais (dor de cabeça, letargia, falta de concentração, cansaço).

Além destas manifestações relatadas pelos ocupantes da edificação, também são observados, por médicos, sinais de manifestação de outras doenças.

Mais modernamente, o próprio CIB (1997) redefiniu a síndrome dos edifícios doentes como sendo:

"Um fenômeno onde pessoas experimentam um grupo de sintomas (como os acima listados), enquanto trabalhando, habitando ou ocupando edifícios específicos. Estes sintomas estão presentes na maior parte da população, mas são identificáveis por prevalecerem em ocupantes de alguns edifícios específicos. Tais sintomas desaparecem ou são reduzidos quando a pessoa afetada permanecem fora dos edifícios suspeitos."

Esta definição, acima exposta, apresenta a tendência contemporânea de abordagem da síndrome de edifícios doentes, valendo destacar os seguintes aspectos:

- Foco de estudo no ser humano e não em parâmetros ambientais específicos;
- Há diferenças de intensidade nos sintomas (ocorrências) entre edifícios;
- Não é necessário que todos os presentes nos ambientes apresentem manifestações;
- A população reclamante deve ser composta por pessoas que estavam saudas antes de ocupar o edifício e voltam a esta condição um tempo após deixá-lo;
- A ocorrência da síndrome é definida em termos de efeitos e não de causas ou de presença de elementos construtivos ou de instalações prediais.

Atualmente, também no Brasil, a questão da SED tem recebido maior atenção seja por necessidade de atendimento às recentes determinações federais, do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2000), seja por conscientização da população e respeito ao ser humano e, até mesmo, por questões monetárias, pois um funcionário que apresente patologias em seu corpo, além de diminuir seu rendimento laborativo pode acionar judicialmente seu empregador requerendo ressarcimentos pelos danos sofridos. Apesar de não termos dados sobre os valores monetários destas perdas, no Brasil, os valores acima citados por Fisk, dão uma idéia da dimensão do problema nos EUA.

Alguns trabalhos de medição das condições ambientais, principalmente da concentração de microorganismos tem sido realizadas em escritórios em São Paulo (FACILITY, 1997). Estas medições porém não tem sido relacionadas ao grau de satisfação dos usuários.

O métodos de trabalho proposto por diversos pesquisadores e consensuado no relatório do CIB para tratar a questão da SED, está dividido basicamente, em duas etapas:

Técnicas de Avaliação Pós-ocupação: Como o enfoque moderno da questão está no ser humano, normalmente inicia-se um trabalho de investigação com aplicação de questionários para identificar se os usuários apresentam algum tipo de reclamação.

Associada a esta atividade, realiza-se uma caracterização técnica do edifício, levantando-se dados relativos a:

- Idade do edifício;
- Número de pessoas por ambiente;
- Materiais e acabamentos de pisos, paredes, forros e mobília;
- Sistema de condicionamento e ventilação;
- Procedimento de limpeza;
- Agentes de limpeza utilizados,
- Etc.

Medições de Parâmetros Ambientais: Uma vez caracterizada a ocorrência da SED, com relação a sua abrangência, segue-se para uma etapa de caracterização das condições ambientais.

Um ponto que merece destaque é que a SED é atribuída de maneira genérica para qualquer moléstia relacionada a edifícios ou excesso de reclamações por parte de usuários. Sugere-se, ao estudar o assunto, fazer uma pré-avaliação para a identificação de problemas/anomalias maiores relacionadas a:

- Reclamações quanto a níveis de conforto;
- Efeitos cumulativos de longo termos sobre a saúde causados por poluentes do ar interno;
- Moléstias infecciosas.

Porém, de maneira geral, os aspectos acima apresentados devem estar presentes nas medições realizadas.

Diversos estudos realizados na Europa, apontam como causas prováveis para SDE os seguintes elementos, isoladamente ou em conjunto, devendo, portanto ser quantificados:

- Baixas taxas de renovação do ar interno;
- Poluentes no ar, como:
 - ❖ Compostos orgânicos voláteis;
 - ❖ Contaminantes biológicos aéreos (pólen, fungos, esporos, bactérias, vírus);
 - ❖ aerossóis;
 - ❖ fumos,
 - ❖ etc.
- Fatores físicos, como:
 - ❖ Temperatura;
 - ❖ Umidade;
 - ❖ contaminantes biológicos aéreos (pólen, fungos, esporos, bactérias, vírus);
 - ❖ aerossóis;
 - ❖ fumos,
 - ❖ Fatores psicológicos.

Apesar de toda esta lista de parâmetros e elementos a serem utilizados nas avaliações, não se chegou ainda a um método totalmente consensuado e normatizado para tratar o problema. Mesmo valores limites para taxas de contaminantes/poluentes do ar não estão totalmente definidos e estabelecidos. Em cada país há uma série de elementos a serem considerados. Só o próprio conceito de compostos orgânicos voláteis gera discussões de quais são os elementos a serem medidos e como devem ser medidos.

4.1.3. Desempenho Energético

Juntamente com a pronta disponibilidade de água potável, a imediata disponibilidade de energia elétrica são as bases do modo de vida das regiões desenvolvidas do mundo durante a segunda metade do século XX.

No aspecto específico do consumo de energéticos, esta situação é cada vez mais acentuada pelo contínuo crescimento da utilização de equipamentos de eletrodomésticos, sistemas computacionais e de processamento de informações, telecomunicações, condicionamento ambiental, etc.

Durante os últimos 50 anos, o panorama sobre a disponibilidade energética mudou grandemente, conforme apresentado a seguir, sendo a questão financeira o grande motivador para estas mudanças. Atualmente, no Brasil, um movimento no sentido de se economizar energia começa a ganhar força por questões de escassez imediata de energéticos, principalmente a eletricidade.

Apesar da privatização do setor, o custo da eletricidade ainda é relativamente barato quando comparado com o custo da instalação como um todo, como será discutido no capítulo a seguir, não sendo um indutor, para a economia de energia, tão forte quanto a possível escassez que se avizinha cada vez mais.

4.1.4. Impacto Ambiental

Atualmente, já há tecnologia desenvolvida capaz de eliminar totalmente o impacto ambiental causado pelas emissões de uma instalação de condicionamento de ar, a preços que são pagos por outros setores da economia, como, por exemplo custos de instalação de filtros em chaminés.

Além disto, há um aumento de respeito pelo meio ambiente, tanto considerando a qualidade de vida dos seres atualmente vivos como das gerações futuras. Contudo, tomando-se ao pé da letra o conceito de que qualquer emissão de um sistema ou processo causa uma perturbação ou um

impacto ambiental, a tendência atual de tratar a questão é limitar estas emissões.

A questão da preservação do meio ambiente tem tido uma atenção crescente em termos mundiais e ganhou novo impulso após a conferência ECO 92 realizada no Rio de Janeiro, na qual 178 governos de todo o mundo definiram a Agenda 21, um documento, com conteúdo, além de ambiental, sócio-econômico. Este documento, define que devem ser estabelecidas metas e políticas que preparem o mundo para se desenvolver de maneira sustentável.

4.1.5. Projeto da Instalação

O projeto de uma instalação de ar condicionado, como de qualquer outro produto desenvolvido sistematicamente, é o ponto básico que lhe garantirá atributos, defeitos e características que afetarão o seu desempenho. Além disto o seu programa de manutenção preventiva irá garantir o seu bom funcionamento, conforme projetado.

Apesar destes aspectos não serem de interesse e estarem além da percepção direta da maior parte dos usuários das instalações de ar condicionado, estes tópicos serão abordados pois são do interesse de responsáveis pela conservação e manutenção das edificações além de poderem afetar significativamente o desempenho das instalações se medidas que estão ao alcance deste usuários não forem tomados. Não se pretende tratar a matéria no âmbito de técnicas e procedimentos operacionais, como por exemplo fixando valores de tensão em correias, especificando o tipo de lubrificante adotado em mancais, etc., mas sim sob um enfoque mais conceitual, apresentando ações e exigências, em um nível mais geral, a serem tomadas visando a manutenção do desempenho da instalação conforme projetada sob o enfoque da conservação de energia, e manutenção das condições de qualidade das condições internas.

4.1.6. Análise econômica

Todavia, um enfoque sob a óptica do usuário não estaria completa se fosse contemplado o aspecto econômico da instalação. Desta forma, serão apresentados os aspectos que devem ser considerados para a realização de uma análise econômica do ciclo de vida da instalação.

4.2. Esboço da sistemática

Para a realização de uma avaliação qualquer, é necessário que estejam definidos, qualitativamente o objetivo a ser atingido, uma forma de verificar o grau de alcance desta meta e um método para realizar as mensurações que fornecerão os dados a serem utilizados na verificação. Desta forma, a sistemática aqui proposta é composta por:

- a) Um conjunto de critérios qualitativo que expressem os aspectos de desempenho a serem considerados;
- b) Uma escala numérica que expresse uma relação de valor com parâmetros físicos que quantifiquem cada um dos critérios citados em a). A composição dos valores atribuídos a cada um dos critérios fornecerá um indicador de desempenho para a instalação como um todo;
- c) Um método para determinação dos parâmetros necessários à aplicação da escala e relações apresentadas em b), sempre que possível aproveitando de procedimentos normatizados.

Há um consenso entre os profissionais que trabalham com qualidade (Juran, 1988) que escalas numéricas de desempenho puro e simples devem ser ponderadas pelo grau de importância que o usuário dá ao aspecto sob avaliação, resultando em índices de desempenho dados genericamente por:

$$ID = \sum_{i=1}^n FP_i \cdot PT_i \quad (1),$$

onde:

ID = Índice de desempenho global do sistema;

FP = Fator de ponderação do critério "i" (valores entre 0 e 1);

PT = Pontuação técnica do critério "i" (valores normalizados para todos os critérios);

i = índice do quesito;

n = número de quesitos.

Como o índice de desempenho proposto tem um caráter aditivo, serão agraciados com pontos extras todos os aspectos que tiverem desempenho acima de um valor mínimo, estabelecido ou recomendado, em geral em Normas Técnicas. Neste sentido, serão atribuídos valores negativos (redução do índice de desempenho global) aos aspectos que tiverem desempenho abaixo dos valores estabelecidos.

O não cumprimento de uma Norma Técnica, teoricamente, não deveria ser admissível, surgindo a questão de que todos os critérios partiriam de uma condição de não perder pontos. Contudo, há várias normas com caráter meramente orientativo. Além disto, a prática tem demonstrado que muitas das normas não são aplicadas até por um desconhecimento do meio técnico em relação à atualização destes documentos, tanto no âmbito nacional como no âmbito internacional.

Dentre as características apresentadas na Tabela 1 para a geração de um indicador, pode-se dizer, a priori, que os objetivos de comparabilidade, clareza e simplicidade são facilmente atingidos, pois uma somatória é de interpretação imediata. Os aspectos de rastreabilidade e estabilidade também estão garantidos pois as escalas a seguir apresentadas têm caráter objetivo e não subjetivo e são acompanhadas de métodos de aplicação, na grande maioria dos casos normatizado.

4.3. Determinação de Fatores de Ponderação

A obtenção dos FPs é, em geral, feita a partir de pesquisas de mercado, com realização de:

- entrevistas com usuários do produto/sistema/serviço sob avaliação;
- envio de questionários a usuários;
- análises de reclamações de consumidores sobre produtos/serviços.

Um exemplo típico de aplicação de questionários é apresentado por Zimerman (1998) para companhias aéreas.

Todas estas técnicas estão baseadas na hipótese de se ter amplo acesso ao mercado consumidor, muitas vezes servindo-se de institutos de pesquisa de opinião, sobre um produto já existente.

Com relação às instalações de condicionamento de ar, que é um produto/sistema já de longa data no mercado consumidor, não se tem informações disponíveis acerca de qualquer estudo sobre o assunto “satisfação do consumidor” aplicado ao tema ar condicionado.

Assim, serão adotadas, na sistemática proposta neste trabalho, fatores de ponderação obtidos pelos métodos empregados no desenvolvimento de novos produtos, que são:

- Utilizar a experiência da equipe de projetistas de produtos similares;
- Utilizar um método denominado Análise Hierárquica de Projetos (OHFUJI et. all, 1997), empregado principalmente na técnica de desdobramento da função da qualidade.

Este último método consiste em fazer julgamentos do grau de importância relativa entre pares de características, utilizando a escala apresentada na tabela abaixo para ponderar este grau de importância.

Tabela 2: Pontuação para expressar o grau de importância da relação entre aspectos de desempenho de um sistema

Valor comparativo	Significado
1	ambos itens igualmente importantes
3	item anterior discretamente mais importante que o posterior
5	item anterior mais importante que o posterior
7	item anterior bastante mais importante que o posterior
9	item anterior fundamentalmente mais importante que o anterior

Normalmente é montada uma matriz onde nos “títulos das linhas e das colunas” são colocadas as características da qualidade e no cruzamento de uma linha com uma coluna é colocado o grau de importância relativa entre os pares. O grau de importância atribuído deve ser, sempre que possível, atribuído com base em informações de mercado. Uma vez preenchida a referida matriz calcula-se a média geométrica dos graus de importância das relações para cada aspecto considerado e se faz a somatória destas. A relação entre cada média geométrica e a somatória é o fator de ponderação do aspecto.

Além da subjetividade envolvida na atribuição do valor da relação entre a importância das características é a própria seleção das características que compõem a análise. Nem sempre é desejável que todas as características sejam inseridas na matriz de análise.

Dadas as dificuldades de se obter informações mais abrangentes sobre a satisfação de consumidores com a instalação de condicionamento de ar, será aplicado, a seguir, o método AHP para a determinação dos fatores de ponderação, atribuindo, segundo a óptica deste autor, o grau de importância relativa de cada par de quesitos. Isto será feito com base na minha experiência profissional em atividades de pesquisas e prestação de serviço tecnológicos no atendimento de demandas de conforto ambiental e conservação de energia.

A aplicação do método AHP está apresentado na Tabela abaixo. Optou-se por se manter os aspectos relativos ao impacto ambiental mesclados em

uma única características por se entender que este é o aspecto de mais difícil percepção para o usuário comum.

	Conforto térmico	Qualidade do ar	Ruído Interno	Desempenho Energético	Impacto Ambiental	Projeto	Manutenção	Custo durante a vida útil	Média Geométrica	Fator de Priorização
Conforto térmico		3	5	7	9	9	5	5	4,99	0,366
Qualidade do ar	1/3		3	7	9	9	1	5	3,56	0,261
Ruído Interno	1/5	1/3		7	9	3	3	3	2,38	0,174
Desempenho Energético	1/7	1/7	1/7		1	1	1/3	1/5	0,38	0,028
Impacto Ambiental	1/9	1/9	1/9	1		1	1/3	1/5	0,31	0,023
Projeto	1/9	1/3	1/3	1	1		1	1/5	0,30	0,022
Manutenção	1/9	1	1/3	3	3	1		3	0,81	0,059
Custo durante a vida útil	1/5	1/5	1/3	5	5	5	1/3		0,91	0,067
	Total:								13,63	1,000

5. Condições ambientais

As condições ambientais no interior dos recintos condicionados serão enfocadas tendo como parâmetro os três principais aspectos determinados pela operação do sistema de condicionamento de ar: conforto térmico; qualidade do ar e o nível de ruído interno.

O conforto térmico será abordado com base na legislação e normatização nacionais. Contudo, em termos internacionais há documentos mais detalhadas que serão também considerados.

A qualidade do ar interno, será abordada a partir da legislação brasileira recém publicada. Porém, esta é uma área que ainda carece de melhor definição, mesmo em termos internacionais. Assim, estes documentos serão complementados com artigos técnicos recém publicados em simpósios internacionais.

O nível de ruído será abordado exclusivamente a partir de Normas técnicas Brasileiras que contemplam o assunto da mesma forma que as normas internacionais.

5.1. Conforto térmico

As condições térmicas dos ambientes internos vêm sendo estudadas desde o começo do século XX em busca de faixas de valores que sejam satisfatórios para a grande maioria dos ocupantes dos recintos de recintos condicionados (JABARDO, 1984) e (ASHRAE, 1989). Estes estudos chegaram a um grande nível de detalhamento, consolidado em normas de âmbito internacional que apresentam modelos refinados das trocas higrotérmicas do corpo humano com o ambiente que o cerca.

Atualmente, as pesquisas desenvolvidas visam ajustar estes modelos a fim de reproduzir, com maior qualidade, a sensação de pessoas que passam parte significativa de sua vida em ambientes não condicionados. Estudos

recentes (CONTE, 2000) mostram que estes indivíduos se sentem confortáveis em condições que os modelos anteriormente citados já indicariam condições insatisfatórias de conforto, mostrando assim que tais pessoas apresentam uma tolerância maior à condições mais “adversas”.

Para a realização deste trabalho, serão adotados como documentos de referência as Normas Técnicas desenvolvidas para ambientes condicionados, foco deste estudo.

5.1.1. Normas e Legislação Brasileira

Em termos nacionais, a norma NBR 6401 – Instalações centrais de ar condicionado para conforto (ABNT, 1980), apresenta valores de temperatura, umidade e movimentação do ar a serem adotados na realização de projetos de instalações de condicionamento de ar. Estas tabelas estão reproduzidas a seguir.

A norma recomenda ainda que o valor máximo da velocidade do ar não seja superior a 0,25 m/s, medido a 1,5 m acima do piso.

Observa-se que estes valores são recomendados sem se levar em conta a vestimenta ou a atividade dos ocupantes, nem apresenta formas de correção dos dados tabelados para outras velocidades de circulação de ar sobre as pessoas.

Tabela 3: Valores de projeto para a temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) recomendados para condições de inverno pela NBR 6401.

TBS (°C)	UR (%)
20 a 22	35 a 65

Tabela 4: Valores de projeto para a temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) recomendados para condições de verão pela NBR 6401.

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		TBS(°C)	UR (%)	TBS(°C)	UR (%)
Conforto	Residências, Hotéis, Escritórios, Escolas	23 a 25	40 a 60	26,5	65
Lojas de curto tempo de ocupação	Bancos, Barbearias, Cabeleireiros, Lojas Magazines e Supermercados	24 a 26	40 a 60	27	65
Ambientes com grandes cargas de calor latente e/ou sensível	Teatros, Auditórios, Templos, Cinemas, Bares, Lanchonetes, Restaurantes, Bibliotecas, Estúdios TV	24 a 26	40 a 65	27	65
Locais de reunião com movimento	Boites e Salões de Baile	24 a 26	40 a 65	27	65
Ambientes de Arte	Depósitos de Livros, manuscritos e obras raras	21 a 23	40 a 50	--x--	--x--
	Museus e galerias de Arte	21 a 23	50 a 55	--x--	--x--
Acesso	Halls de elevadores	--x--	--x--	28	70

Outro documento nacional que trata da questão do conforto térmico é a Norma Regulamentadora 17 do Ministério do Trabalho que especifica as seguintes condições ambientais internas para locais de trabalho, conforme transcrito a seguir:

"17.5. Condições ambientais de trabalho.

17.5.1. As condições ambientais de trabalho devem estar adequadas às características psicofisiológicas dos trabalhadores e à natureza do trabalho a ser executado.

17.5.2. Nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas as seguintes condições de conforto:

b) índice de temperatura efetiva entre 20°C (vinte) e 23°C (vinte e três graus centígrados);

c) velocidade do ar não superior a 0,75m/s;

d) umidade relativa do ar não inferior a 40 (quarenta) por cento;

17.5.2.2. Os parâmetros previstos no subitem 17.5.2 devem ser medidos nos postos de trabalho, sendo os níveis de ruído determinados próximos à zona auditiva e as demais variáveis na altura do tórax do trabalhador.”

Além disto, os valores recomendados para a temperatura e a umidade do ar são ainda mais restritivos que os apresentados na norma NBR 6401.

Um terceiro documento nacional sobre o tema é a portaria n. 3523 do MINISTÉRIO DA SAÚDE (1998), que estabelece:

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

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

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

- a faixa recomendável de operação da Velocidade do Ar, no nível de 1,5m do piso, deverá variar de 0,025 m/s a 0,25 m/s. Estes valores são considerados médios quando medidos com instrumento de alta sensibilidade.”

Estes dois últimos documentos também tem um caráter prescritivo sendo pouco adequados a uma escala de avaliação baseada em conceitos de

desempenho e pouco flexíveis para permitir a realização de projetos em condições distintas das tabeladas.

5.1.2. Normas ISO

A ISO é a organização internacional que tem maior volume de informações normatizadas sobre resposta humana ao ambiente térmico, abrangendo toda a faixa de variação possível, iniciando com o risco de congelamento, passando pelo conforto térmico e terminando com a sobrecarga térmica. O primeiro documento desta estrutura normativa é a Norma ISO 11399/95 tem por objetivo especificar informações que irão permitir o uso correto e prático das demais Normas ISO relativas à ergonomia do ambiente térmico. Isto inclui:

- a descrição das Normas relativas à ergonomia do ambiente térmico e de como cada uma delas se complementa quando utilizadas para a avaliação de ambientes térmicos;
- uma descrição dos princípios básicos inerentes a cada Norma;
- uma descrição dos princípios básicos referentes à ergonomia do ambiente térmico.

As Normas ISO relativas à ergonomia do ambiente térmico podem ser utilizadas de uma maneira integrada para permitir a avaliação da exposição humana a ambientes quentes, moderados e frios, conforme apresentado a seguir.

Ambientes quentes: Para a avaliação de ambientes quentes, a Norma ISO 7243 fornece um método simples e rápido de avaliação baseado no Índice de Bulbo Úmido – Termômetro de Globo (IBUTG). Se o IBUTG de referência é excedido ou uma análise mais detalhada é desejada, a Norma ISO 7933/89 fornece um método analítico para a avaliação do ambiente. Se a resposta fisiológica dos indivíduos é requerida, então as medições devem ser feitas de acordo com a Norma ISO 9886/92.

Ambientes moderados: A Norma ISO 7730/84 orienta sobre o cálculo do “voto médio estimado” e da porcentagem de pessoas insatisfeitas para a avaliação de ambientes termicamente moderados. A sensação térmica média e a variação individual em relação a esta resposta podem ser relacionadas ao grau de conforto térmico e ao grau de insatisfação térmica. Com a aplicação desta Norma podem ser determinadas as condições ambientais que produzirão, em média, condições satisfatórias de conforto térmico. Respostas individuais podem também ser obtidas por meio de medidas subjetivas de acordo com os procedimentos apresentados na Norma ISO 10551/95. A ISO recomenda que, sempre que possível, estas duas Normas sejam utilizadas de maneira complementar.

Ambientes frios: O relatório técnico ISO/TR 11079/93 pode ser utilizado para a avaliação de ambientes frios, tendo como parâmetros a resistência térmica da roupa necessária para se obter conforto térmico, a resistência térmica mínima da roupa para permanecer no ambiente em condições aceitáveis de salubridade, o “índice de congelamento sob ação do vento” e uma temperatura de referência denominada “temperatura de congelamento”. Para selecionar as roupas adequadas a um ambiente frio, a Norma ISO 9920/95 pode ser usada para a determinação da resistência térmica necessária para se obter conforto térmico. Para a avaliação aplicada a indivíduos e a populações específicas, a Norma ISO 9886/92 fornece orientação sobre a resposta fisiológica enquanto a Norma ISO 10551/95 fornece orientações sobre medições de grandezas subjetivas.

Desta série de normas, merece destaque a ISO 7730/84, que é usada em toda Europa para especificar as condições limites para a aceitabilidade térmica de um ambiente condicionado. Destacam-se neste documento os conceitos de porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) com o ambiente térmico e voto médio estimado (VME) obtidos a partir de equações do balanço térmico de todo o corpo humano e representam uma sensação média de conforto no interior dos recintos.

Mais precisamente, o voto médio estimado é a quantidade de energia que deve ser somada ou subtraída do corpo humano pelo seu sistema

termoregulador a fim de que a condição de neutralidade térmica seja mantida. Desta forma, quanto mais energia deve ser trocada maior a sensação de desconforto. Detalhes deste balanço de energia podem ser encontrados na própria norma ISO 7730/84 ou no trabalho na qual ela foi baseada desenvolvido por (FANGER, 1972). Esta equação de balanço de energia é complexa e exige o uso de algoritmos computacionais para a sua solução. No anexo da Norma ISO 7730/84 é apresentado um “software” para tal.

O balanço térmico é realizado tendo como parâmetros:

- Temperatura de bulbo seco do ar;
- Umidade relativa do ar;
- Velocidade do ar sobre o corpo humano;
- Temperatura radiante média do ambiente;
- Resistência térmica da roupa dos ocupantes;
- Taxa metabólica dos ocupantes.

Com este enfoque, a ISO não fixa faixas específicas de valores para a temperatura e a umidade do ar, mas fornece um método flexível para combinar todos os parâmetros acima citados a fim de determinar combinações ótimas para cada ambiente específico, segundo a atividade e vestimenta dos ocupantes.

O voto médio estimado (VME) expressa o a seguinte escala de sensações:

- - 3 = forte sensação de frio;
- - 2 = sensação de frio
- -1 = leve sensação de frio
- 0 = sensação de neutralidade ou conforto térmico;
- +1 = leve sensação de calor;
- +2 = sensação de calor;
- +3 = forte sensação de calor;

A porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) é relacionada com o voto médio estimado pela equação:

$$PPI = 100 - 95.e^{-(a.VME^4 + b.VME^2)} \quad (2),$$

onde:

$$a = 0,03353; e$$

$$b = 0,2179.$$

Não são fixados valores máximos para a porcentagem de pessoas insatisfeitas, deixando a cargo de cada país membro da ISO o estabelecimento deste limite, porém é sugerido um valor de 10%. Contudo, analisando o comportamento da curva (Figura 3) gerada pela equação 2, verifica-se que o valor mínimo para a porcentagem de pessoas insatisfeitas é de 5%.

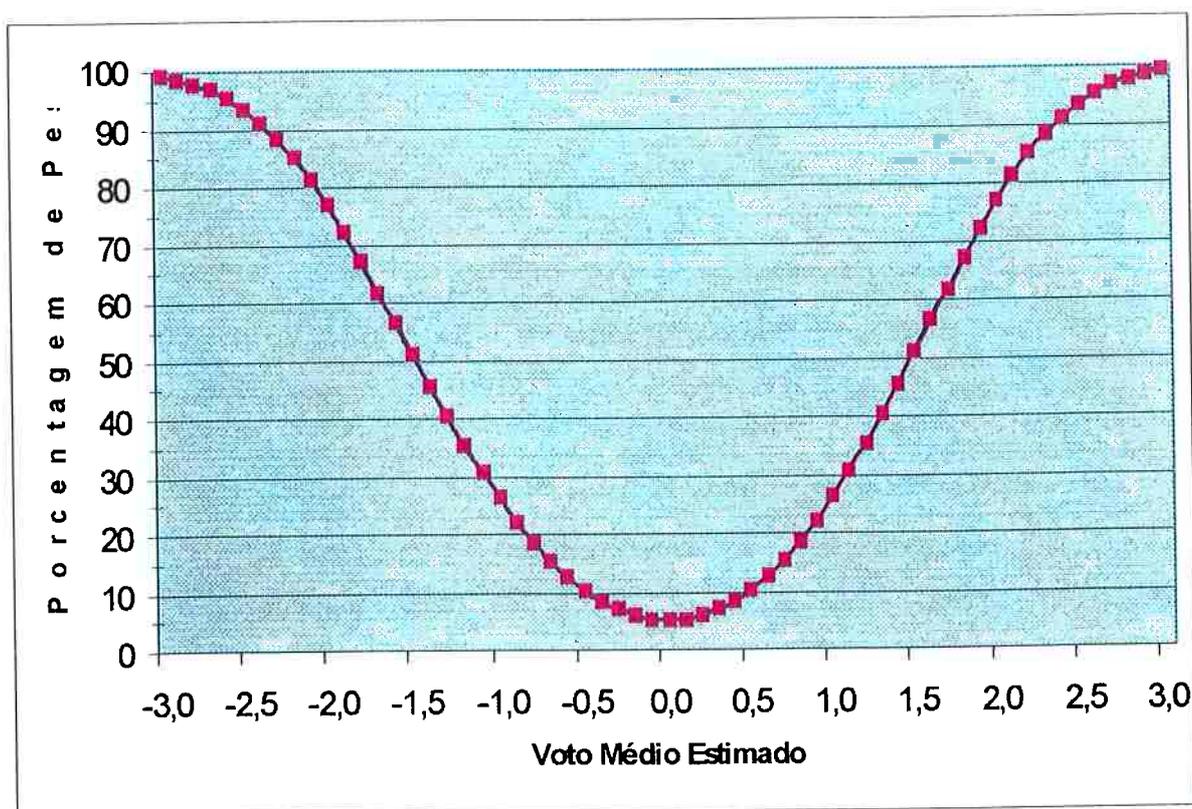


Figura 3: Relação entre voto médio estimado e porcentagem de pessoas insatisfeitas.

Além disto, a norma ISO apresenta ainda valores limites para assimetrias de temperatura radiante plana, velocidade do ar e temperaturas superficiais a fim de limitar a PPI com o ambiente térmico devido a desconfortos localizados

a 80%. Destas exigências, será adotado o conceito de limitar a velocidade do ar para garantir condições satisfatórias de conforto.

5.1.3. Norma ANSI/ASHRAE 55/1995

Apesar desse grande volume de informações constantes das normas ISO, não pode deixar de ser citada Norma ANSI/ASHRAE 55/95, talvez o primeiro documento normativo, em sua edição de 1964, a especificar condições satisfatórias de conforto térmico para fins de condicionamento ambiental. Ao longo de suas várias revisões, vários índices tomando em conta a resposta humana para diversas atividades e resistência térmica de roupa são apresentadas.

Destacam-se também os conceitos de porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico e voto médio. Contudo, esta norma adota a temperatura operativa como elemento de avaliação das condições de conforto de um local, apresentando tabelas e diagramas com faixas de valores recomendados para este parâmetro. Apresenta também equações que permitem extrapolar os valores tabelados para outras situações distintas das ali tabuladas.

Na sua revisão de 1995 a ASHRAE apresenta faixas de temperatura operativa (Figura 4) que visam a produzir condições ambientais que produzam uma PPI de 10% para a sensação sentida para ao corpo como um todo. São apresentadas também equações ou ábacos que permitem expandir essas faixas de valores para distintas condições de circulação do ar, de taxa metabólica ou de vestimenta.

Complementarmente a esta exigência, são apresentados valores limites de assimetrias de temperaturas radiantes, valores máximos para a velocidade do ar e temperaturas limites para pisos a fim de manter a porcentagem de insatisfeitos devido a estas condições localizadas em menos de 15% dos ocupantes. Estas exigências são equivalentes às apresentadas na ISO 7730/84.

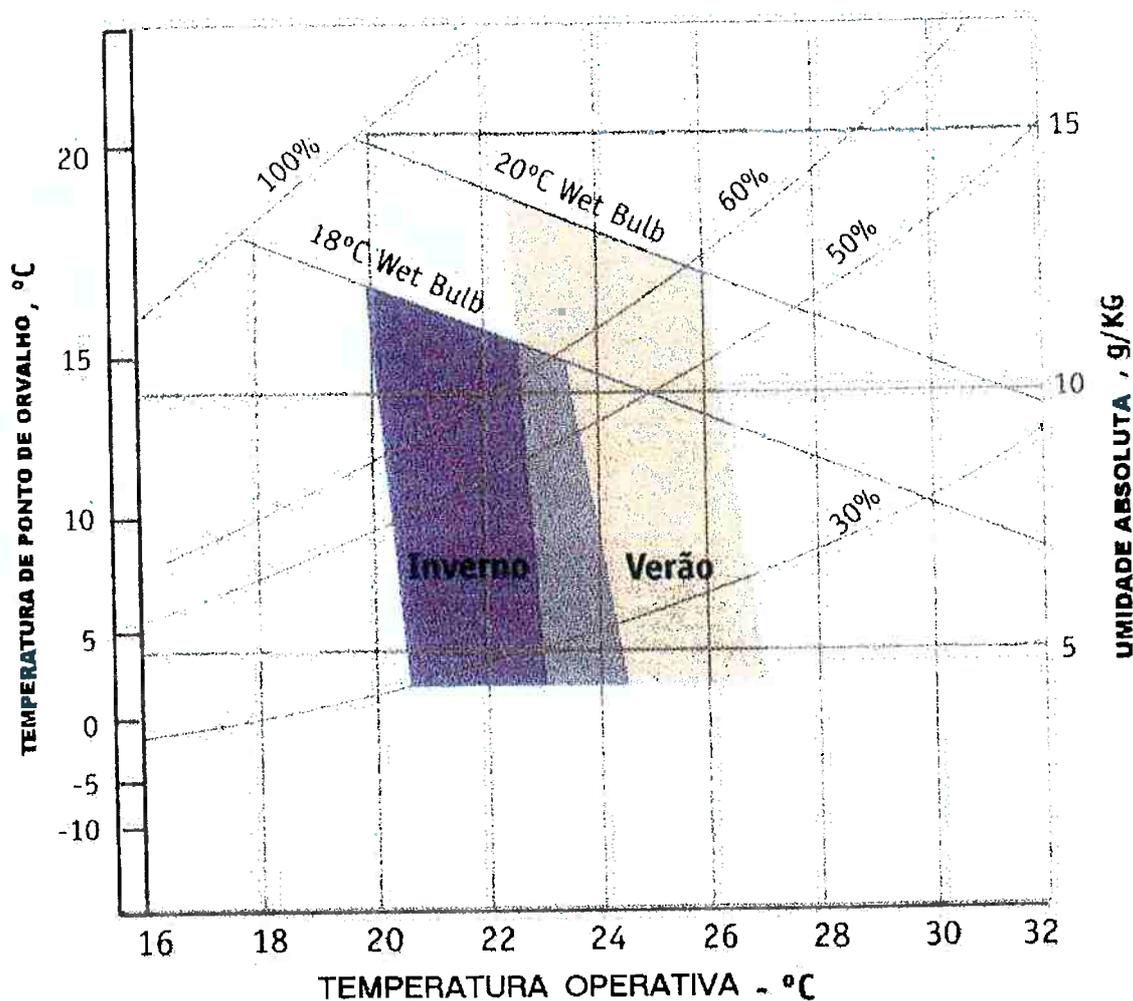


Figura 4: Diagrama psicrométrico com a indicação da zona de conforto segundo a Norma ANSI/ASHRAE 55/95.

5.1.4. Tendência Atual das Normas de Conforto

Atualmente, tanto a Norma ISO 7730/84 como a Norma ANSI/ASHRAE 55/95 passam por um processo de revisão, praticamente conjunto (OLESEN, 2000), introduzindo algumas alterações relevantes em seu conteúdo, mantendo porém os conceitos de limitar o desconforto térmico tanto para o corpo como um todo como para partes localizadas.

A primeira delas é apresentar condições ambientais internas segundo classes, permitindo estabelecer um ranking de desempenho de sistemas de

condicionamento/edifícios. Na Tabela 5 são apresentadas as classes que estão sendo propostas.

Tabela 5: Três categorias de ambientes térmico propostas e porcentagem de pessoas insatisfeitas, tanto com o estado de todo o corpo, como com relação a sensações de desconforto localizadas.

Categoria Térmica	Estado do corpo como um todo		Desconforto térmico localizado			
	PPI (%)	Voto Médio Estimado (VME)	Alta velocidade do ar (%)	Diferença vertical na temperatura do ar (%)	Piso frio ou aquecido (%)	Assimetria de temperatura radiante (%)
A	< 6	-0,2 < PMV < + 0,2	<15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < + 0,5	<20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	0,7 < PMV < + 0,7	<25	< 10	< 15	< 10

Dentre os índices usados para avaliar as condições de desconforto localizado, o único que apresenta uma relação entre a porcentagem de insatisfeitos e parâmetros físicos é aquele que caracteriza a exposição à alta velocidade do ar, dada por:

$$IVA = [(34 - TA) \cdot (v - 0,05)^{0,62}] \cdot (0,37 \cdot v \cdot Tu + 3,14) \quad (3),$$

onde:

- IVA = porcentagem de pessoas Insatisfeitas com a Velocidade do Ar;
- TA = Temperatura de bulbo seco do Ar (°C);
- v = velocidade do ar (m/s);
- Tu = intensidade da turbulência do ar (%), dada pela relação do desvio padrão da velocidade do ar sobre o seu valor médio, medidos com anemômetros de fio quente, conforme Norma ANSI/ASHRAE 55/95.

Além disso, as revisões das normas pretendem enfatizar ainda mais a questão da adaptabilidade humana ao ambiente térmico por meio do controle da vestimenta e aponta a necessidade de se estabelecer limites e exigências diferenciadas caso o edifício não seja condicionado por boa parte do tempo de ocupação ou caso o usuário passe parte significativa de sua vida fora de ambientes condicionados. Este último aspecto considera que a tolerância ao frio ou calor é maior em pessoas que passaram grande parte de sua existência

em ambientes não climatizados artificialmente. Outros autores apresentam argumentos embasando esta hipótese como CONTE; FATO(2000) e BOERSTRA et. Alli. (2000)

Uma proposta que deve ser incluída nestas revisões é a de se realizar avaliações anuais das condições de conforto térmico, fazendo-se a seguinte somatória para os horários em que as condições internas sejam tais que o $|VME|$ no interior do ambiente seja maior que o módulo do VME limite aceitável:

$$ID = \sum_{i=1}^n \left| \frac{VME_{real}}{VME_{limite}} \right| \cdot \Delta t \quad (4),$$

onde

ID = índice de desempenho;

i = índice indicador da hora em que $|VME_{real}| > |VME_{limite}|$;

n = número total de horas em que $|VME_{real}| > |VME_{limite}|$;

Δt = duração do período (em horas) em que $|VME_{real}| > |VME_{limite}|$

Este parâmetro, com unidade de horas, deverá ser limitado, pelas comissões de normatização, a 100 ou 150 horas para que os ambientes sejam aceitos como satisfatórios.

5.1.5. Métodos adotados

Como já citado ao longo do texto, as normas brasileiras não consideram totalmente os aspectos que caracterizam a sensação de conforto térmico humano, nem apresentam uma forma mais refinada de avaliação da sensação de conforto como a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas apresentadas na ISO. Esta situação pode ser explicada pelo fato da Norma NBR 6401, base para as portarias da vigilância sanitária não ter sido revisada desde 1980. Já a Norma ISO trata a matéria de forma completa e dá meios de se calcular um índice para a sensação térmica do corpo como um todo (PPI), que pode ser bastante útil na sistemática aqui proposta.

Além deste, o IVA será utilizado na sistemática proposta pois, além de tratar de um aspecto de importância fundamental na sensação de conforto, nos dá uma equação que correlaciona diretamente grandezas físicas mensuráveis com a satisfação do usuário.

5.2. Contaminação do Ar

Até a bem pouco tempo, quando se falava em qualidade do ar interno, o foco das atenções recaía quase que exclusivamente sobre a concentração de poeira/particulado em suspensão presente no ar ambiente. Como exemplo deste enfoque pode-se citar o "Building Standard Law of Japan" (MINISTRY OF CONSTRUCTION, 1990) e o "Building Maintenance Law of Japan" (MINISTRY OF CONSTRUCTION apud JICA, 1992) do Japão, leis federais daquela nação que regulamentam as construções e suas instalações, que especificam que um ar com qualidade aceitável é aquele com menos do que 0,15 mg de poeira em suspensão para cada metro cúbico de ar interior do edifício. Esta abordagem fazia com que os filtros de ar fossem, quase que exclusivamente, os elementos de projeto responsáveis pelo atendimento destas exigências. A própria norma NBR 6401 apresenta uma tabela de classes de filtros (Tabela 6 apresentada a seguir) a serem utilizados nas instalações de condicionamento de ar.

Tabela 6: Recomendações de filtros de ar segundo a NBR 6401.

Classe de Filtro	Eficiência (%)	Características	Aplicações principais
GO	30 – 59	Boa eficiência contra insetos e relativa contra poeira grossa. Eficiência reduzida contra pólen de plantas e quase nula contra poeira atmosférica.	Condicionadores tipo janela.
G1	60 – 74	Boa eficiência contra poeira grossa e relativa contra pólen de plantas. Eficiência reduzida contra poeira atmosférica.	Condicionadores tipo compacto ("self contained").
G2	75 - 84	Alta eficiência contra poeira grossa. Boa eficiência contra pólen de plantas e relativa contra a fração grossa (75 μ) da poeira atmosférica	Condicionadores de sistemas centrais
G3	85 e acima	Boa eficiência contra a fração grossa (> 5 μ) da poeira atmosférica	Condicionadores dos sistemas centrais pré-filtragem para filtros finos F2 e F3.
F1	40 - 69	Eficiência satisfatória contra a fração fina (1 - 5 μ) da poeira atmosférica - Pouca eficiência. contra fumaças de óleo e tabaco	Condicionadores de sistemas centrais para exigências altas. Pré-filtragem para filtros finos F3
F2	70 - 89	Boa eficiência contra a fração fina(1 - 5 μ) da poeira atmosférica Alguma eficiência contra fumaças de óleo e tabaco	Condicionadores de sistemas centrais para exigências altas. Pré-filtragem . para filtros absolutos
F3	90 e acima	Alta eficiência contra a fração fina (1 - 5 μ) da poeira atmosférica. Eficiência satisfatória contra fumaças de óleo e tabaco. Razoavelmente eficiente contra bactérias e fungos microscópicos,	Pré-filtro para filtros absolutos. Precisa pré-filtragem, por sua vez
A1	85 - 97,9	Boa eficiência contra a fração ultrafinas (<1 μ) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos.	Salas com controle de teor de poeira. Precisa pré-filtragem
A2	98 - 99,96	Alta eficiência contra a fração ultrafina (<1 μ) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias e fungos microscópicos. '	Salas com controle de teor de poeira zonas assépticas de hospitais(exigências altas. Precisa pré-filtragem. Salas limpas das classes 100, 10000 e 100000. Salas e cabinas estéreis para operações cirúrgicas e ortopédicas (exigências particularmente altas). Todas as instalações que requer teste de estanqueidade(leak test) Precisa pré-filtragem
A3	99,97 e acima	Eficiência excelente contra a fração ultrafina (<1 μ) da poeira atmosférica, fumaças de óleo e tabaco, bactérias, fungos microscópicos e vírus.,	

Vários fabricantes especializaram na produção de filtros que atendem às características apresentadas na tabela acima. Na foto abaixo tem-se uma imagem extraída do catálogo de um destes fabricantes onde aparecem desde filtros classe G0 do tipo de bolsa até filtros absolutos classe A3.

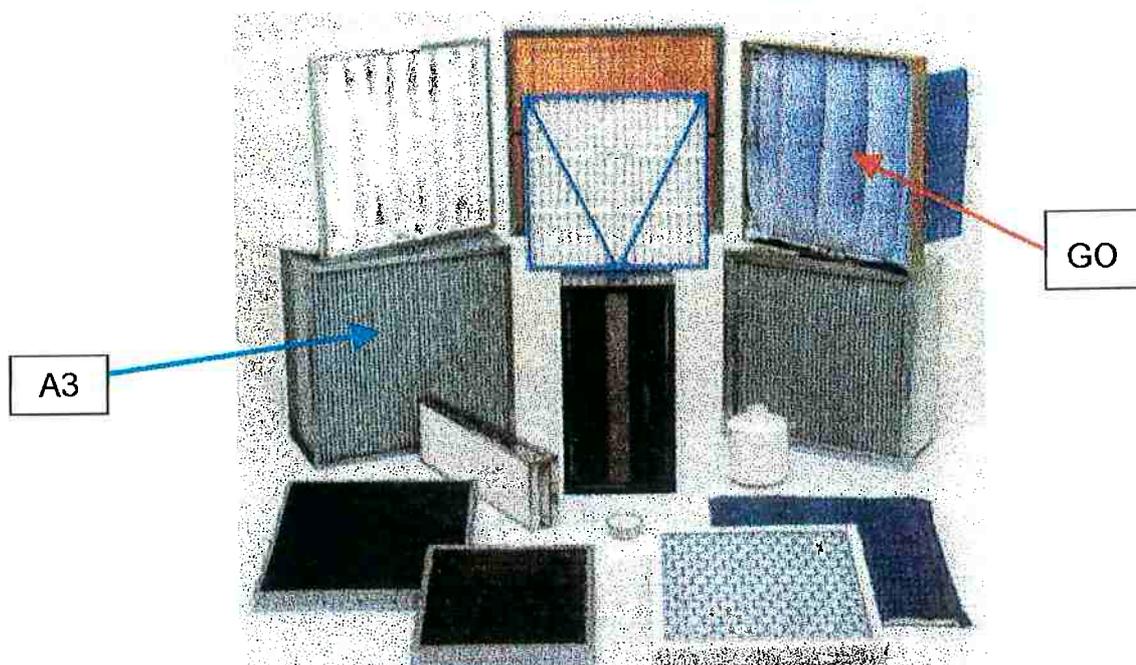


Foto 2: Vista da linha de produtos de um fabricante de filtros (identificação inserida pelo autor).

Com o surgimento dos conceitos de “salas limpas” e principalmente de “edifícios doentes” esta situação mudou. Hoje há uma série de parâmetros adicionais que são considerados para se considerar o ar ambiente com qualidade aceitável.

5.2.1. Portarias da Vigilância Sanitária

Com relação à Portaria da Vigilância Sanitária de número 3523 do Ministério da Saúde, de 28 de agosto de 1998, que normatiza a questão da qualidade do ar interno no Brasil, este tem sido, praticamente, o documento de referência utilizado pela sociedade e por empresas para a abordagem da questão. Seguindo esta tendência, já começam a surgir empresas

especializadas na limpeza de dutos e dos demais componentes de sistemas de ar-condicionado. Já há interesse em se buscar certificação com base neste documento. Contudo, este documento é, na sua maior parte, genérico apresentando apenas valor mínimo de 27 m³/h/pessoa para a vazão do ar externo a ser suprido pelo sistema de ar-condicionado. Segundo cálculos realizados por BEYER (2000), considerando a hipótese de regime permanente, esta vazão deve propiciar uma condição interna com concentração de CO₂ da ordem de 1000ppm, valor tido como aceitável de forma mais ou menos generalizada pela comunidade internacional.

Outro documento mais recente da Agência Nacional de Vigilância Sanitária é a Resolução - RE n ° 176, de 24 de outubro de 2000 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000), que publica uma "Orientação Técnica", elaborada por Grupo Técnico Assessor sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Este texto apresentou a definição de valores máximos recomendáveis para contaminação biológica, química e parâmetros físicos do ar interior, a identificação das fontes poluentes de natureza biológica, química e física, métodos analíticos (Normas Técnicas 001, 002, 003 e 004, anexas ao documento) e as recomendações sucintas de ações a serem tomadas tanto no edifício como no sistema de condicionamento para controlar a emissão e a eliminação de contaminantes.

São transcritos a seguir os chamados padrões referenciais para a qualidade do ar interno, que segundo o texto, produzirão condições satisfatórias para 80% dos ocupantes dos recintos:

IV. PADRÕES REFERENCIAIS

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

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

Quando este valor for ultrapassado ou a relação I/E for $> 1,5$, é necessário fazer um diagnóstico de fontes para uma intervenção corretiva.

É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos.

- Os Valores Máximos Recomendáveis para contaminação química são:
 - ≤ 1000 ppm de dióxido de carbono (CO₂), como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar.
 - ≤ 80 mg/m³ de aerodispersóides totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado.
 - a Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes como lojas, centros comerciais, bancos e outros, onde a taxa de ocupação de pessoas por m² é crítica. Nestes casos a Taxa de Renovação do Ar mínima será de 17 m³/hora/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO₂, maior ou igual a estabelecida nesta Orientação Técnica como Valor Máximo Recomendável.
 - o Grau de Pureza do Ar nos ambientes climatizados será obtido utilizando-se, no mínimo, filtros de classe G-3 nos condicionadores de sistemas.

É interessante notar que esta orientação técnica permite a redução da taxa mínima de renovação de ar de 27 para 17 m³/hora/pessoa, desde que a concentração interna de CO₂ não exceda a 1000ppm. Esta situação, em locais em que hajam pessoas presentes, somente será conseguida em períodos de tempo muito curtos, antes de se chegar à condição em regime permanente.

Vale também ressaltar uma mistura de formas de abordar o problema, sendo que parte da norma tem um caráter mais voltado ao conceito de desempenho ao limitar valores máximos para contaminantes e parte de caráter prescritivo ao impor um tipo de filtro.

5.2.2. Norma NBR 6401

Sob o enfoque que qualidade do ar pode ser conseguida com taxas adequadas de ventilação, vale citar os valores da taxa de insuflação de ar externo apresentados na Norma NBR 6401. Estão assinalados em cinza os valores abaixo do especificado na portaria da vigilância sanitária.

Tabela 7: Valores mínimos e recomendados pela NBR 6401 para a taxa de renovação do ar externo

Local	m ³ /h/pessoa		Concentração de Fumantes
	Recomendável	Mínimo	
Bancos	17	13	Ocasional
Barbearias	25	17	Considerável
Salões de Beleza	17	13	Ocasional
Bares	68	42	--x--
Cassino	45	35	--x--
Escritório			
Público	25	17	Alguns
Privados	42	25	Nenhum
Privados	51	42	Considerável
Estúdios	35	25	Nenhum
Lojas	17	13	Ocasional
Salas de hotéis	51	42	Grande
Residências	35	17	Alguns
Restaurantes	25	20	Considerável
Salas de Diretores	85	50	Muito Grande
Teatros-Cinemas-auditório	13	8	Nenhum
Teatros-Cinemas-auditório	25	17	Alguns
Salas de aulas	50	40	Nenhum
Salas de reuniões	85	50	Muito Grande
Aplicações gerais			
Por pessoa (não fumando)	12	8	--x--
Por pessoa (fumando)	68	42	--x--

Pode-se verificar que em boa parte dos valores recomendados pela NBR 6401 não ocorre o cumprimento do mínimo estabelecido pela portaria da vigilância sanitária. Novamente, este fato pode ser justificado por a NBR 6401 ser um documento antigo, que não passou pelas revisões necessárias.

5.3. Concentração de CO₂ como indicador

Nos anais do último congresso THE HEALTHY BUILDING (2000) foram apresentados aproximadamente uma centena de artigos sobre o tema qualidade do ar no interior de recintos. Muitos tratando de contaminantes específicos, outros falando sobre produtividade humana (alguns já citados nesta tese), outros sobre formas de medição de contaminantes, conforto, etc., sem se chegar a uma metodologia de consenso de como tratar o assunto.

Em artigo publicado por APTE; FISK; DAISEY (2000), tratando dados de concentração de poluentes, temperatura, umidade, e ocorrência de sintomas típicos da SED, levantados em 41 edifícios de escritórios nos EUA, mostra-se que ainda há ocorrência significativa da síndrome quando a concentração de CO₂ está na faixa de 800 ppm. O trabalho se concentra especificamente neste elemento, com a justificativa de que ele pode ser usado como um traçador para a presença de outras fontes de contaminação do ar em edifícios de escritório em condições normais de utilização (e não após reformas onde a presença de tintas, colas e resinas e seus respectivos vapores é grande) quando as pessoas são as principais fontes de contaminantes para o ar.

Os estudos estatísticos realizados por Apte, todos a um nível de significância de 95%, mostram que a ocorrência de sintomas relativos à SDE como irritação na garganta, secura nos olhos, sensação de falta de ar podem ser reduzidos de 70% a 85% com a redução da concentração de CO₂ no ar de 800 ppm para 400 ppm (pouco acima da concentração externa, média de 350 ppm naquele estudo). Ainda segundo este autor esta redução se dá de maneira aproximadamente linear dentro de faixas de 100 ppm.

5.3.1. Aspectos adotados.

Para este tópico serão adotados os itens de caráter não prescritivo na portaria da vigilância sanitária, ou seja, as concentrações limites de contaminantes, como parâmetros mínimos e a relação entre concentração de CO₂ e a ocorrência da síndrome dos edifícios doentes, por apresentar, ao exemplo do que foi feito para o conforto térmico, uma relação entre resposta humana e parâmetros ambientais mensuráveis.

5.4. Ruído

O ruído no interior de edificações destinadas à ocupação humana é um dos itens básicos que devem ser considerados quando do projeto do prédio e das suas instalações. Esse tema é estudado de tão longa data quanto o

conforto térmico, estando normatizado e regulamentado em quantidade significativamente maior que o “conforto térmico”, tanto em documentos que tratam de especificar parâmetros de desempenho para edifícios como para sistemas eletromecânicos e, até, ambientais. Serão citados aqui apenas os aspectos mais relevantes ao desempenho das instalações de ar condicionado.

Na Figura 5 tem-se um esquema indicativo das formas e meios de transmissão de ruído de uma instalação de ar condicionado tipo “all-air” para ambientes.

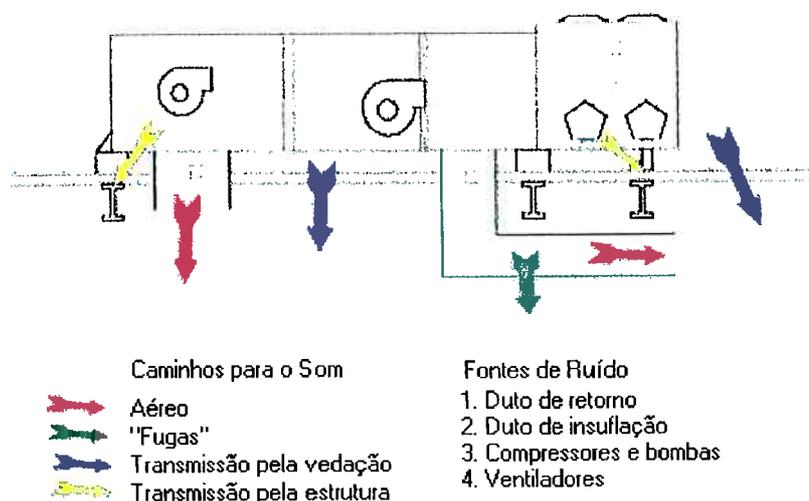


Figura 5: Formas de transmissão do ruído das instalações de ar condicionado para o ambiente.

5.4.1. Valores de Referência

Valores máximos para o nível de ruído são encontrados na normatização e legislação brasileira em dois documentos: a Norma NBR 6401, específica para instalações de ar condicionado e na Norma Regulamentadora 17 do Ministério Do Trabalho.

Na Tabela 8 são apresentados os valores limites de ruído em tanto dB(A) como segundo o critério NC que podem ser produzidos pela instalação de condicionamento de ar, segundo a Norma NBR 6401, em função do local onde será instalado.

A NR 17 também limita valores de ruído introduzidos nos ambientes de trabalho, conforme transcrito a seguir:

“17.5.2.1. Para as atividades que possuam as características definidas no subitem 17.5.2, mas não apresentam equivalência ou correlação com aquelas relacionadas na NBR 10152, o nível de ruído aceitável para efeito de conforto será de até 65 dB (A) e a curva de avaliação de ruído (NC) de valor não superior a 60 dB.

a) níveis de ruído de acordo com o estabelecido na NBR 10152, norma brasileira registrada no INMETRO;”

Os valores recomendados pela NBR 10152/87 para se conseguir condições satisfatórias em ambientes são apresentados na Tabela 9.

Comparando-se os níveis de ruído, em dB (A) apresentados na NBR 6401 (que especifica valores máximos apenas para o equipamento de condicionamento de ar) e na NBR 10152 (que especifica valores máximos para o ambiente como um todo), verificam-se que, em vários casos os valores são coincidentes, como por exemplo nas exigências para salas de reuniões e salas de diretores em escritórios e em quartos de hotéis. Esta situação gera uma incoerência pois o nível de ruído total no ambiente já deve prever aquele gerado pela instalação de condicionamento de ar.

Tabela 8: Níveis máximos de ruído gerado pelas instalações de condicionamento de ar permitidos pela Norma NBR 6401.

Finalidade do Local	dB(A)	NC
Residências		
Casas particulares (zona rural e suburbana)	25 - 30	20 - 30
Casas particulares (zona urbana)	30 - 40	25 - 35
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Hotéis		
Quartos individuais	35 - 45	30 - 40
Salões de baile ou banquetes	35 - 45	30 - 40
Corredores	40 - 50	35 - 45
Garagens	45 - 55	40 - 50
Cozinhas e lavandarias	46 - 65	40 - 50
Escritórios		
Diretoria	25 - 35	20 - 30
Sala de reuniões	30 - 40	25 - 35
Gerência	35 - 45	30 - 40
Sala de recepção	35 - 50	30 - 45
Escritórios em geral	40 - 50	35 - 45
Corredores	40 - 55	35 - 50
Sala de computadores	45 - 65	40 - 60
Auditórios e Salas de música		
Estúdios para gravação de som e salas para concertos musicais	20 - 30	15 - 25
Teatros	30 - 35	25 - 30
Cinemas, auditórios anfiteatros	35 - 45	30 - 40
Salas de leitura	40 - 50	35 - 45
Igrejas e Escolas		
Templos	25 - 35	20 - 30
Bibliotecas	35 - 45	30 - 40
Salas de aula	35 - 45	30 - 40
Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Corredores e salas de recreação	45 - 65	40 - 50
Cozinhas	45 - 65	40 - 50
Edifícios Públicos		
Bibliotecas, museus	35 - 46	30 - 40
Correios, bancos	40 - 50	35 - 45
Banheiros, e toilettes	46 - 65	40 - 50
Restaurantes		
Restaurantes, boites	40 - 50	35 - 45
Lanchonetes	40 - 55	40 - 50
Lojas Comerciais		
Lojas de muito público	45 - 55	40 - 50
Lojas de pouco público	40 - 50	35 - 45
Supermercados	46 - 56	40 - 50
Ginásios Esportivos Cobertos		
Ginásios	40 - 60	35 - 45
piscinas	46 - 60	40 - 55
Transportes		
Local de venda de passagens	36 - 45	30 - 50
Salas de espera	40 - 66	35 - 50
Áreas de Produção		
Exposição durante 8 horas	< 90	--x--
Exposição durante 3 horas	< 97	--x--

Tabela 9: Valores recomendados para o nível de ruído, pela Norma NBR10152, para se conseguir condições satisfatórias de conforto em ambientes, conforme notas da própria tabela.

Locais	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 – 45	30 – 40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 – 50	35 – 45
Serviços	45 – 55	40 – 50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 – 45	30 – 40
Salas de aula, Laboratórios	40 – 50	35 – 45
Circulação	45 – 55	40 – 50
Hotéis		
Apartamentos	35 – 45	30 – 40
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50	35 – 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55	40 – 50
Residências		
Dormitórios	35 – 45	30 – 40
Salas de estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30 – 40	25 – 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45	30 – 35
Restaurantes	40 – 50	35 – 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 – 40	25 – 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 – 45	30 – 40
Salas de computadores	45 – 65	40 – 60
Salas de mecanografia	50 – 60	45 – 55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 – 50	35 – 45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60	40 - 55

- Notas: a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.
 b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar em risco de dano à saúde.

O efeito da combinação de duas fontes sonoras é dado pela soma logarítmica das intensidades sonoras de cada uma das fontes individualmente,

em uma dada posição no espaço, o que corresponde a se adicionar ao nível de ruído produzido pela fonte de maior intensidade um acréscimo devido à energia sonora liberada pela fonte de menor intensidade. Por exemplo, quando a diferença entre as pressões sonoras produzidas, individualmente for maior que 10 dB, o acréscimo produzido na pressão sonora resultante da ação da fonte de maior potência individualmente é de menos que 0,5 dB, valor inferior ao perceptível pelo ouvido humano. Este comportamento está ilustrado na Figura 6.

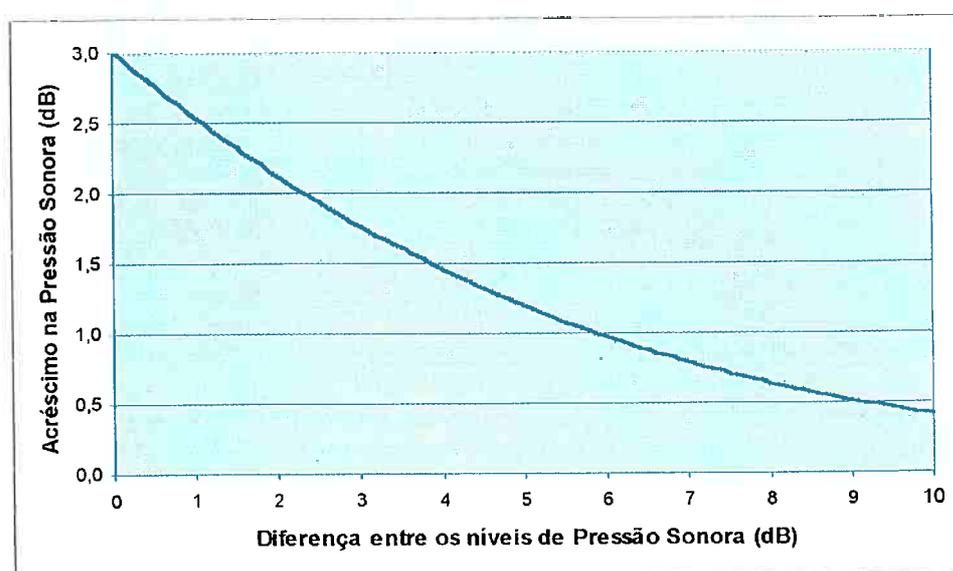


Figura 6: Acréscimo no nível de pressão sonora no ambiente devido a ação de uma segunda fonte de ruído de menor intensidade, em função da diferença de pressões sonoras produzidas pelas duas fontes individualmente.

5.4.2. Aspectos considerados

Nestas normas de desempenho acústico não estabelecem relação direta entre parâmetros físicos e satisfação do usuário, porém, nenhum outro documento normativo o faz. Desta forma, será adotada como referência os valores de nível máximo de ruído interno apresentados pela NBR 10152, que são inclusive citados na legislação nacional.

6. Desempenho energético

Não há no Brasil, normas ou leis que tratem do desempenho energético de sistemas de condicionamento de ar em edificações, ao contrário do que se verifica nos países da Europa e EUA, onde, devido às crises do petróleo que causaram mudanças culturais naqueles países.

Neste capítulo será feita uma rápida retrospectiva do consumo de energéticos nos Brasil e no mundo, ressaltando os momentos que deram origem às normas e legislações no exterior. A seguir, serão analisadas as normas dos EUA e da França, para colher subsídios para a sistemática aqui proposta.

6.1. O uso de fontes de energia ao longo da história

A madeira foi a primeiro e, durante a maior parte da história humana, a fonte principal de energia. Estava prontamente disponível, pois havia florestas extensas em muitas partes do mundo e a quantidade de madeira necessária para aquecimento e cozinhar era relativamente modesta. Certas outras fontes de energia, só achadas em áreas localizadas, também eram antigamente usadas: betume, carvão, e turfa de depósitos na superfície terrestre e petróleo que percolava/aflorava a partir de depósitos subterrâneos.

Esta situação mudou quando a madeira começou a ser usada durante a Idade Média para produção de carvão vegetal, que era aquecido junto com minério/mineral ouro para realizar a extração e a purificação deste metal.

No meio do século 18, o início da revolução industrial encontrou florestas fortemente devastadas impondo a busca por uma nova fonte de energia, que foi encontrada no carvão retirado de minas. Este energético passou a ser utilizado em larga escala não só na produção do ouro mas, também para o acionamento de máquinas a vapor.

Embora, por séculos o petróleo tenha sido usado em quantidades pequenas em propósitos tão diversos quanto medicamento e calafetagem de navio, a “era moderna do petróleo” começou quando um poço de petróleo foi colocado em operação comercial na Pensilvânia em 1859. A indústria petroleira nos Estados Unidos se expandiu rapidamente com a criação de várias refinarias para a produção dos derivados do petróleo. As companhias de óleo começaram rapidamente a exportar o produto principal deles, querosene usado para iluminação, para todas as áreas do mundo. O desenvolvimento dos motores de combustão interna e do automóvel no término do século 19 criou um mercado novo vasto para outro produto principal, a gasolina. Um terceiro produto principal, óleo pesado, começou a substituir o carvão depois de Segunda Guerra Mundial.

As maiores companhias de refino e comercialização de que estão baseadas nos Estados Unidos acharam grandes reservas em seu próprio país. Nesta situação, companhias de óleo de outro país - especialmente Inglaterra, Holanda/Países Baixos, e França - começaram a procurar óleo em muitas partes do mundo, especialmente no Oriente Médio. Os britânicos colocaram o primeiro campo em operação no Irão logo antes Primeira Guerra Mundial (1914-1918). Durante a Primeira Guerra Mundial, a indústria petroleira norte-americana produziu dois-terços da provisão de óleo do mundo a partir de poços domésticos e importou outro um-sexto do México. Ao término da guerra e antes da descoberta dos campos produtivos no Texas Oriental em 1930, os Estados Unidos, com suas reservas extenuadas pela guerra, se tornaram um importador de petróleo durante alguns anos.

Durante as três décadas seguintes, com apoio do governo federal dos EUA, as companhias de petróleo norte-americanas se expandiram-se pelo resto do mundo. Em 1955 as cinco maiores empresas petrolíferas de capital norte-americano produziram dois-terços do petróleo extraído fora dos EUA e da URSS. Duas companhias Britânicas eram responsáveis pela produção do restante.

Estas sete grandes empresas proporcionaram para o mundo quantidades crescentes de óleo barato durante um período de quase 15 anos. O preço mundial era de um dólar por barril, e durante este tempo os Estados Unidos eram largamente auto-suficientes, com suas importações limitadas por uma cota.

Esta conjuntura resultou em uma cultura não preocupada com o uso racional de fontes não renováveis de energia, supervalorizando, na área de ar condicionado, o aspecto conforto do usuário e de economia no custo inicial da instalação. Era comum o uso de sistemas de reaquecimento terminal ou de duplo duto para controlar, finalmente, com um único "chiller" as condições ambientais em diversas zonas que tivessem exigências distintas.

Duas séries de eventos coincidiu para mudar esta situação de uma provisão segura de óleo barato em uma provisão insegura de óleo caro. Em 1960, enfurecidos por reduções unilaterais nos preços de óleo realizadas pelas sete grandes companhias de petróleo, grandes, os governos dos países exportadores de petróleo formaram a Organização de Países Exportadores de (OPEP). A meta de OPEP era tentar evitar cortes adicionais no preço pago pelas 7 grandes aos países sócios da organização (Venezuela e quatro países ao redor do Golfo Pérsico). Eles tiveram sucesso, mas durante uma década eles não conseguiram aumentar seus preços. Enquanto isso, o consumo de petróleo tornou-se crescente ao longo do mundo, especialmente na Europa e Japão onde óleo substituiu o carvão como uma fonte primária de energia, causando uma expansão enorme na demanda para produtos de óleo.

O ano 1973 trouxe o fim à era de óleo seguro, barato. Como resultado da Guerra árabe-israelense, os países árabes produtores de petróleo reduziram produção de óleo e embargaram as remessas de petróleo destinadas aos EUA e para os Países Baixos, em outubro. Embora as reduções árabes representassem uma perda de menos que 7% da produção mundial, estas ações criaram pânico por parte de companhias de óleo, consumidores, comerciantes, e em alguns governos. Disputas "agressivas" por petróleo ocorreram quando algumas das nações produtoras começaram a

leiloar parte suas produções. Estas disputas encorajaram que as nações da OPEP, que agora somavam 13 membros, aumentassem o preço de todo seu óleo cru a um preço 8 vezes superior ao praticados alguns anos antes.. A cena de óleo mundial acalmou-se gradualmente, devido a recessão mundial gerada pela excessiva elevação dos preços do petróleo, que, gerou uma redução na demanda por este produto. Enquanto isso, a maioria dos governos da OPEP tomou-se posse de seus dos campos petrolíferos.

Neste momento, foram iniciados estudos e mudanças de práticas de projeto visando reduzir o consumo energético em todos os setores da sociedade nos EUA, Europa e Japão, incluindo aí as instalações de ar condicionado. Normas e leis de conservação de energia começam a ser esboçadas e publicadas, rejeitando práticas de projeto executadas até então.

Em 1978, a segunda crise do petróleo começou com a revolução islâmica que resultou na queda do Xá de Irã, derrubando juntamente, a produção de óleo Iraniana bem como suas exportações. Uma vez que o Irã tinha sido o principal exportador de petróleo daquela década, os consumidores se apavoraram novamente. Uma repetição dos leilões de 1973 eventos resultou, novamente em uma elevação forçada para dos preços do petróleo durante 1979. A erupção de guerra entre o Irã e Iraque em 1980 deu um aumento adicional para os preços do petróleo. Ao final de 1980 o preço de óleo cru estava a 19 vezes o que tinha sido praticado (aproximadamente US\$ 40,00 o barril) há pouco mais de dez anos antes.

O preço muito elevado do petróleo causa nova recessão e dá grande impulso às idéias e práticas de conservação de energia. Como diminuiu a demanda mundial e a produção em países não participantes da OPEP aumentou (Grã-Bretanha explorando o Mar do Norte, México, Brasil, Egito, China, e Índia), os preços voltaram a declinar. A produção na União Soviética alcançou 11,42 milhões de barris por dia antes de 1989, respondendo por 19,2% de produção mundial daquele ano.

Apesar dos baixos preços de óleo mundiais que prevaleceram desde 1986, interesse em redução de consumo de energéticos continuou sendo um

foco principal da política energética nos países industrializados. Os aumentos de curto prazo nos preços resultantes da invasão do Kuwait pelo Iraque em 1990 reforçou esta preocupação. Devido a suas reservas vastas, o Oriente Médio continuará sendo a fonte principal de óleo para o futuro próximo. Porém, descobertas de novas reservas no Mar Cáspio sugerem que países como o Kazaquistão possam se tornar fontes principais de petróleo no século 21.

6.2. O consumo de energia no Brasil

O consumo de energéticos no Brasil vem crescendo de maneira praticamente continua desde o final da década de 70, tendo a geração interna acompanhado, praticamente de forma paralela, porém abaixo do consumo, este crescimento (Figura 7). Analisando-se a variação da produção decomposta por fontes primárias, constata-se que a energia de origem hidráulica foi a que teve maior crescimento, substituindo outras fontes na matriz energética nacional. (Figura 8).

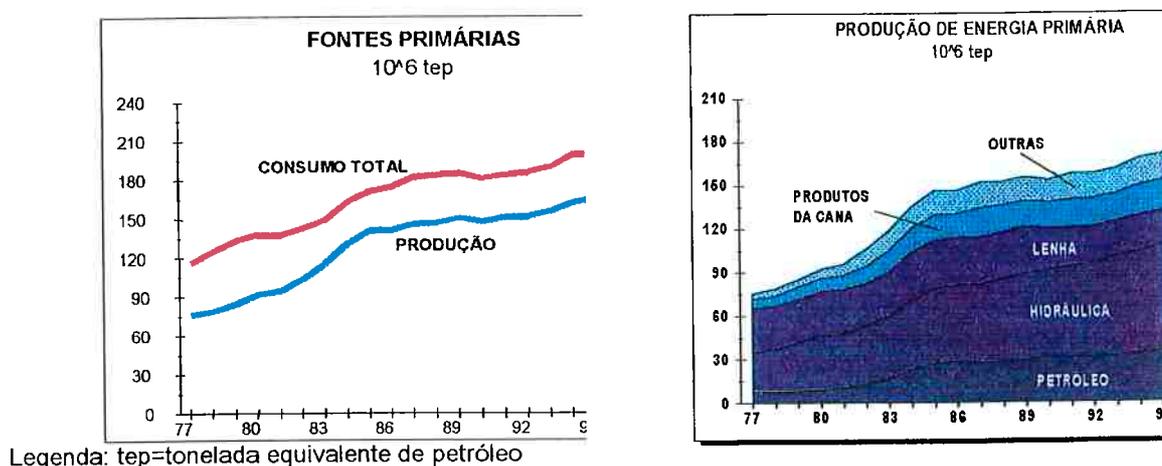


Figura 7: Evolução do consumo e da produção totais de energia no Brasil. Figura 8: Evolução da produção de energia no Brasil, por fonte.

Fonte: Balanço Energético Nacional 1999 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA)

Fazendo-se uma análise de longo escopo (período 1940-1998), constata-se que o forte crescimento do uso da energia elétrica de origem hidráulica se dá na década de 1970 (Figura 8), resultado de ações tomadas no

sentido de substituir as importações de petróleo durante as crises energéticas ocorridas neste período. A maior disponibilidade deste recurso fez com que o parque produtivo nacional fosse convertido para usar energia elétrica. Os equipamentos de condicionamento de ar, que já eram tradicionalmente acionados por este energético, passaram a ser usados com ainda maior liberdade.

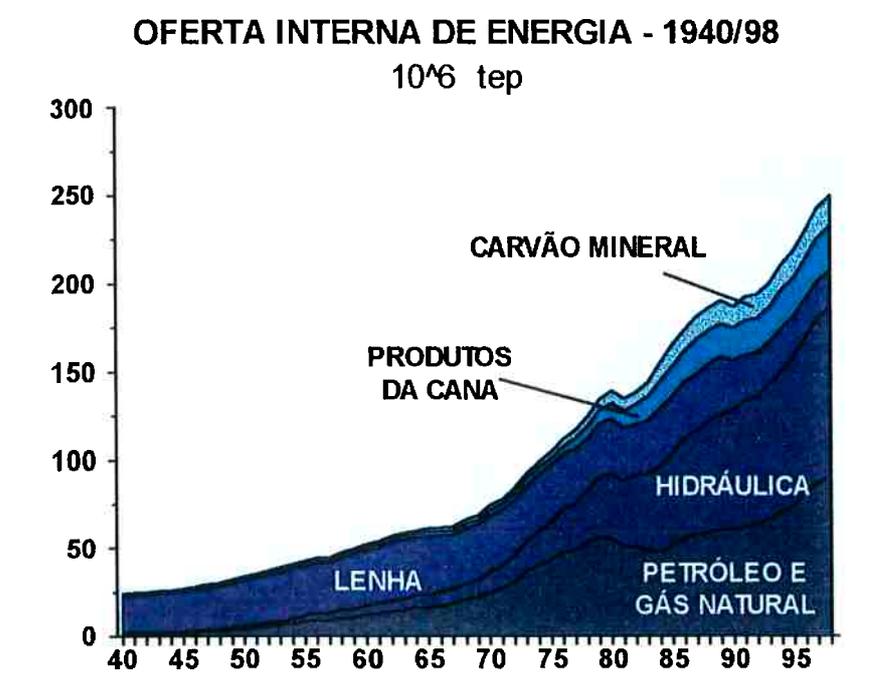


Figura 9: Variação da participação das diversas fontes de energia na oferta interna, no período de 1940-1998. Fonte: Balanço Energético Nacional 1999 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA)

A partir da segunda metade da década de 1980, o governo federal inicia uma atuação mais dirigida à conservação de energia elétrica via a Eletrobrás que gerencia o PROCEL (Programa de Conservação de Energia Elétrica), que após ter um direcionamento inicial sobre grandes consumidores de energia como indústrias, shoppings centers e grandes edifícios de escritórios, tem suas atividades redirecionadas para eletrodomésticos de pequeno.

Dados recentes (ELETRICIDADE MODERNA, 2000) indicam que a retomada econômica ocorrida nos últimos anos da década de 1990, associada

à baixos investimentos tanto no setor de produção como no setor de distribuição de energia elétrica podem levar à escassez e à falta da energia elétrica. Esta situação torna-se particularmente mais grave na região sudeste do Brasil, onde estão situados os principais pontos de consumo e as fontes hidroelétricas estão já quase que totalmente exploradas.

Além disto, o programa de construção de usinas termoelétricas (centrais que podem entrar em operação em um curto espaço de tempo se comparado com o tempo necessário para a construção de hidroelétricas) deflagrado em 1999 pelo governo federal ainda não produziu os resultados esperados. Como principal entrave para o desenvolvimento de tal programa pode-se citar a opção de se adotar o gás natural vindo da Bolívia como combustível, que apesar de apresentar baixo potencial de poluição ambiental é pago em dólares porém vendido em Reais, a preços irrealizáveis por 12 meses podendo causar problemas de fluxo de caixa aos empreendedores.

Neste sentido, a adoção de sistemas de condicionamento de ar com alta eficiência energética é necessária, tanto pelo lado do gasto monetário com energia como, principalmente, pela questão de contribuir para a disponibilidade do recurso energia elétrica. Esta contudo não é ainda uma realidade no Brasil, prevalecendo, ainda, na grande maioria das situações o conceito de menor preço no momento da seleção dos equipamentos.

6.3. Legislações e práticas de Conservação de Energia

O tema conservação de energia em edificações e suas instalações, é tratado, pelos países mais desenvolvidos, como matéria de primeira importância, sendo alvo de Normas Técnicas, algumas de abrangência internacional (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1992) e até de legislação. Será apresentada, a seguir, a forma utilizada por duas nações, que servirão para nortear as propostas feitas.

6.3.1. EUA

Nos EUA o tema começou a ser tratado em âmbito normativo pela ASHRAE, considerando a variação nas condições climáticas entre o frio e o calor, que impõe a existência de sistemas de aquecimento e de resfriamento, que são responsáveis por parcela considerável do consumo energético em edificações. As normas propostas por esta associação tratam tanto da envoltória da edificação, e, principalmente, os sistemas de condicionamento térmico.

São utilizados como documentos de referência as séries de Norma ANSI/ASHRAE 90 (ANSI/ASHRAE, 1989), e ANSI/ASHRAE/IESNA 100 (ANSI/ASHRAE/IESNA, 1995), destinadas, respectivamente, a projetos de novas edificações e a reforma de edificações já existentes.

O propósito dessas normas é fornecer exigências de projeto que irão melhorar a eficiência quanto ao uso de energia em edifícios e fornecer um meio de determinar antecipadamente o impacto de sua utilização no desgaste das fontes de recursos energéticos. Estas exigências são formuladas em termos de:

- ↳ projeto da envoltória de edificações, visando obter resistência térmica adequada e taxa mínima de infiltração de ar;
- ↳ critérios de projeto e de seleção de equipamentos e de sistemas mecânicos, elétricos, de aquecimento de água e de iluminação;
- ↳ critérios de seleção de combustíveis e de fontes de energia;
- ↳ promoção do uso eficiente de recursos energéticos não renováveis e estímulo ao uso de fontes de energia renováveis.

De maneira mais específica, são apresentados critérios e exigências para a avaliação dos seguintes elementos da edificação e de seus sistemas de condicionamento ambiental:

- a) resistência e capacidade térmicas da envoltória;
- b) estanqueidade ao ar da envoltória;

- c) temperaturas e umidade externas e internas para projeto;
- d) taxas de ventilação de ambientes;
- e) estratégias e dispositivos de controle de temperatura e das taxas de ventilação;
- f) sistemas de condicionamento e de distribuição de ar e de água;
- g) isolamento de dutos de distribuição de ar e de água;
- h) coeficientes de performance de equipamentos de resfriamento e de aquecimento de ar e de água, em diversos regimes de carga. No Anexo A desta tese são reproduzidas as tabelas com estes valores mínimos de performance;
- i) sistemas de iluminação;
- j) consumo anual de energia (valor total e a parcela correspondente a cada energético consumido).

O atendimento às Normas pode ser feito de duas maneiras:

- 1) satisfazendo-se todas as exigências prescritivas apresentadas nos itens a) até i). A verificação destas exigências é feita utilizando-se métodos simplificados de análise, nos quais estão disponíveis valores de referência tabelados.
- 2) Determinando-se os consumos de energia apresentados em j) e comparando-os com o de soluções de projeto similares que atendam às exigências apresentadas nos itens a) a i).

Para a obtenção destes valores na fase de projeto faz-se necessário realizar simulações detalhadas, em computador, das trocas térmicas e mássicas: entre os recintos da edificação; entre eles e o exterior; e que acontecem no sistemas de condicionamento térmico. É necessário simular também o comportamento dos equipamentos de condicionamento em função destas trocas e das condições climáticas. Isto é feito, normalmente, por meio de programas de computador, onde são empregados os modelos mais refinados já desenvolvidos no setor. Para a realização destas simulações a

Norma ASHRAE/IES 90 apresenta várias especificações sobre perfis de uso de pessoas e equipamentos, rendimentos de equipamentos (COPs e eficiências sazonais), etc.

Pela sua abrangência e confiabilidade, a Norma ASHRAE/IES 90 foi tomada como base para a elaboração de dois códigos federais de conservação de energia (um para habitações e outro para edifícios comerciais) que, devido ao caráter confederativo daquela nação, estão sendo transformados em leis estaduais para conservação de energia, sendo votados nas assembleias estaduais. Estes códigos aplicam-se à envoltória do edifício, limitando-se a resistência térmica e a estanqueidade ao ar dos seus componentes e aos seguintes sistemas: condicionamento de ar e ventilação; aquecimento de água; distribuição de energia elétrica; iluminação. Não se aplicam a edificações existentes, a edificações com baixo consumo de energia ($< 11 \text{ W/m}^2$ de área de piso com um consumo anual de energia menor que 47.304 kWh/m^2 - 15.000 Btu/pé^2), a edificações ou recintos não condicionados e a edificações designadas como históricas.

Por outro lado, o DOE (Department of Energy – Departamento de Energia dos Estados Unidos) oferece suporte aos códigos federais de conservação de energia do país, especialmente à Norma ASHRAE/IES 90, auxiliando no seu desenvolvimento e providenciando ferramentas e recursos que fazem com que os códigos sejam mais fáceis de serem utilizados. Seguindo esta filosofia, foram desenvolvidos, recentemente, os seguintes manuais:

- ⌘ MEC Check Manual (DOE, 1995) – destinado à verificação de edifícios residenciais com até três pavimentos;
- ⌘ COM check EZ (DOE, 1997) – destinado à verificação de edifícios comerciais e residenciais com mais de três pavimentos.

Ambos os documentos incluem um método manual, que segue um procedimento prescritivo, e um método de cálculo, que segue procedimentos de avaliação global do edifício e dos seus sistemas de condicionamento térmico, podendo-se escolher entre um ou outro, indistintamente, pois apresentam a mesma validade. Destinam-se a auxiliar na verificação de conformidade com os códigos federais de conservação de energia

desenvolvidos com base na Norma ASHRAE/IES 90.1. Os Estados ou Jurisdições que tenham adotado ou incorporado a Norma ASHRAE/IES 90.1 – 1989 como seu código ou tenham adotado códigos baseados nesta Norma, podem utilizar estes manuais, que terão a mesma validade.

Além disso, o DOE incentiva a participação aberta da população nos processos de revisão desta Norma, estando inclusive em discussão a sua última revisão, de 1995.

Com todo este volume de informações pode-se selecionar aquele conjunto que fosse mais adequado à cada realidade regional. Porém, após uma análise mais acurada, verifica-se que todos os documentos apresentam praticamente os mesmos índices mínimos de performance para os equipamentos de ar condicionado, baseados nos valores apresentados na Norma ASHRAE/IES 90, citados no Model Energy Code (CABO, 1995) e apresentados no Anexo A. Estes valores serão adotados como valores mínimos para a atribuição da nota mínima.

Será aproveitado o conceito de cálculos de consumos energéticos anuais para a realização das avaliações.

6.3.2. França

As crises do petróleo da década de 1970, fizeram com que a França adotasse uma política de reduções sucessivas de 25% do consumo energético com o condicionamento ambiental em edificações, em relação à situação vigente anteriormente, através de sucessivas medidas legislativas que disciplinavam a construção civil. Na Figura 10, esta situação é ilustrada.

Na primeira redução de 25% fixou-se um limite mínimo para a resistência térmica das vedações das edificações, obrigando que todos os novos edifícios fossem construídos com paredes espessas. No decorrer do período dessa primeira redução, é criado um "selo de alto isolamento térmico" a fim de diferenciar para o consumidor dos edifícios aqueles que tinham um isolamento maior que o exigido pela legislação, indicando assim que

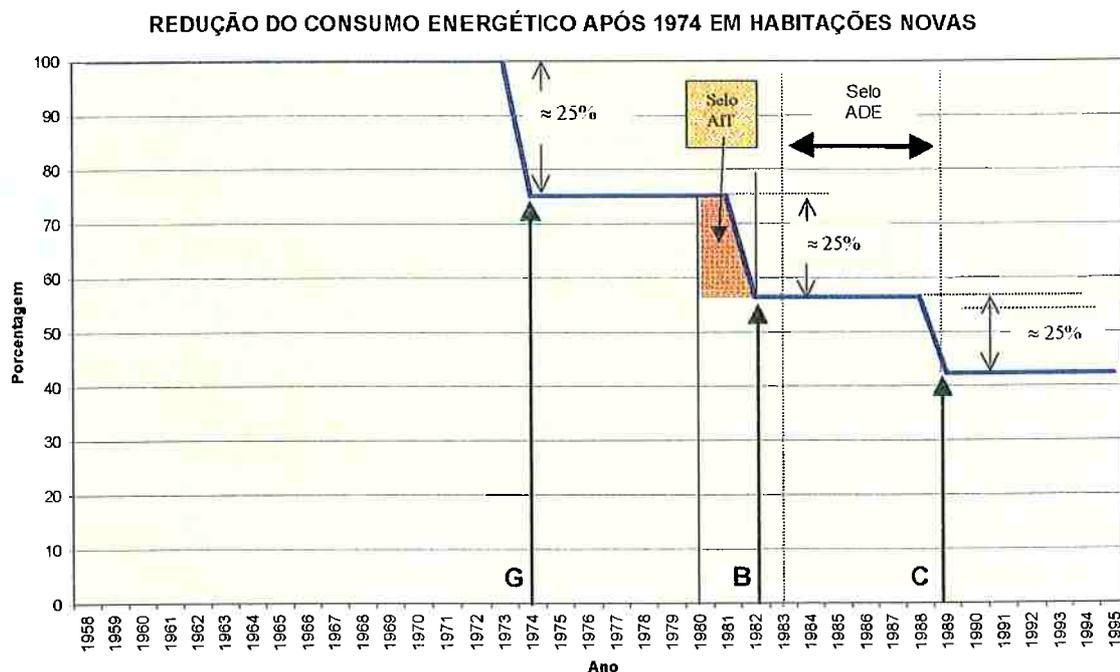
o seu consumo energético seria menor do que daqueles que simplesmente atendiam minimamente ao estabelecido em lei.

Na segunda redução de 25%, eliminou-se esta exigência de uma resistência térmica mínima e fixaram-se limites para as cargas térmicas de aquecimento. O ganho de liberdade para os projetistas de edifícios, que puderam compensar perdas no isolamento térmico em paredes e coberturas com aumento de performance em estanqueidade ao ar, posicionamento adequado de janelas, etc., foi cobrado sob a forma de um aumento na exigência da performance do edifício. Concomitantemente à esta nova legislação é criado mais um “selo” de incentivo / diferenciação, o selo de alta performance energética, para aqueles edifícios que excediam em um certo patamar aqueles requisitos mínimos estabelecidos.

A imposição de uma terceira redução de 25% no consumo médio de energia foi justificada como se estivesse sendo dada mais liberdade aos projetistas permitido que estes levassem em conta, ao aprovar a sua edificação, que a eficiência do sistema de condicionamento fosse computada na análise. Desta forma, não se limitou mais a carga térmica de aquecimento, mas sim o consumo energético final do edifício.

Ressalte-se que toda esta evolução nas reduções de consumos só foi possível devido a bases de dados com históricos acurados dos consumos de energia e performances energéticas de edificações, dados estes ainda não disponíveis no Brasil.

Este conceito de reduções sucessivas de redução de consumo de energia irá balizar a nota máxima que será dada à instalação de condicionamento de ar sob avaliação. Será atribuída uma nota máxima a uma instalação de condicionamento de ar que consumir 0,75 do valor fixado para uma instalação de referência, à qual será atribuída a nota mínima.



OBS:

Selo AIT: Selo de Alto Isolamento Térmico

Selo ADE: Selo de Alto Desempenho Energético

Figura 10: Evolução qualitativa do consumo máximo de energia em edificações na França, estabelecido por sucessivas alterações legislativas (M.E.L.L.A.T., 1988)

É interessante ressaltar que este conceito foi aplicado a instalações de aquecimento, não havendo, nos principais países da Europa preocupações com o resfriamento (AKUTSU, 1998).

6.4. “Softwares” de simulação

Os cálculos de consumo energético citados nas normas ASHRAE estão fundamentados em “softwares” de simulação detalhada do comportamento térmico de edifícios e da resposta de suas instalações de condicionamento, em termos de consumo de energia, como o DOE-2 (BIRDSALL, 1994) ou o BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) (USACERL, 1993), discutidos brevemente a seguir, e mais recentemente o *EnergyPlus*, que representa a fusão deste dois “softwares” anteriores. Os cálculos são feitos

hora a hora, em bases anuais, utilizando-se arquivos de dados climáticos típicos para cada localidade.

De maneira geral, ambos os "softwares" realizam os seguintes cálculos:

- Determinação de cargas térmicas de condicionamento (sensível e latente) e/ou temperatura e umidade internas, dos diversos ambientes, utilizando o método do balanço de energia térmica, que é a aplicação da primeira lei da termodinâmica a cada uma das superfícies dos elementos que compõem a envoltória da edificação e à massa de ar em seu interior simultaneamente, em regime transitório, entre o ambiente e o exterior (VITTORINO, 1994).
- Determinação das vazões de ar/água e do estado (temperatura para ambos e umidade relativa para o ar) destes fluidos nos circuitos de distribuição, utilizando equações de balanço de calor e massa, em regime permanente;
- Determinação dos consumos energéticos em motores ou fontes de calor utilizando equações de balanço de massa e energia, em regime permanente, nestes elementos e ainda curvas de rendimentos/performance específicos para cada um deles. Alternativamente, podem ser usadas curvas padrão pré fornecidas.

Dadas as características climáticas existentes no território nacional, onde a temperatura externa apresenta variações significativas ao longo do dia, programas de computador baseados na hipótese de regime permanente das trocas térmicas através das vedações não são instrumentos adequados para a avaliação do comportamento térmico de edificações e de seu consumo energético.

Desta forma, como condição básica para a sua utilização, o "software" deve considerar o caráter dinâmico dos fenômenos de trocas de energia e massa entre a edificação e o ambiente externo. Os outros elementos que devem fazer parte de tais "softwares" são apresentados no fluxograma da Figura 11.

6.4.1. O programa DOE-2:

O programa DOE-2 (BIRDSALL, 1994) foi desenvolvido pelo Laboratório Lawrence Berkeley, com assistência do Laboratório Nacional de Los Alamos, sob contrato do Departamento de Energia Americano (DOE), tendo como característica principal o fato de ser um programa para simulação e análise do consumo energético em edificações considerando as condições dinâmicas de exposição ao clima e à ocupação, com possibilidades de análises bastante abrangentes. Permite o cálculo de cargas térmicas horárias de aquecimento e de resfriamento e fornece como saída um componente detalhado das cargas de pico. Permite ainda, simular o sistema de distribuição de ar e água do edifício ("fan-coils", dutos, caixas de mistura, etc), e a operação dos equipamentos de condicionamento ambiental e de geração de calor e frio ("chillers", torres de resfriamento, caldeiras, etc.), incluindo sistemas de aproveitamento da energia solar. Possibilita, também, a realização da análise econômica do projeto pelo cômputo do custo do consumo energético durante o ciclo de operação. Se neste aspecto pode ser considerado como um dos programas mais completos, apresenta algumas restrições para as análises relativas ao comportamento térmico da edificação, não sendo portanto, a ferramenta mais adequada para a avaliação do desempenho térmico de recintos não condicionados. SORREL (1985), DIAMOND (1985) e ROBERTSON; CHRISTIAN (1985) mostram os resultados de testes realizados com o programa (versões DOE-2.1A, DOE-2.1B e DOE-2.1C) para variados tipos de edificações e de condições de exposição, juntamente com indicações sobre as situações em que o programa apresenta melhor desempenho.

As modalidades de cálculo do programa que podem ser utilizadas para a avaliação de edificações são:

- a) fixando-se um valor constante para a temperatura do ar interior, são calculadas as cargas térmicas de aquecimento ou de resfriamento para manter o ar interior a esta temperatura;
- b) quando o ambiente tem o seu sistema de condicionamento térmico desativado, é possível calcular tanto os valores da temperatura do ar interior

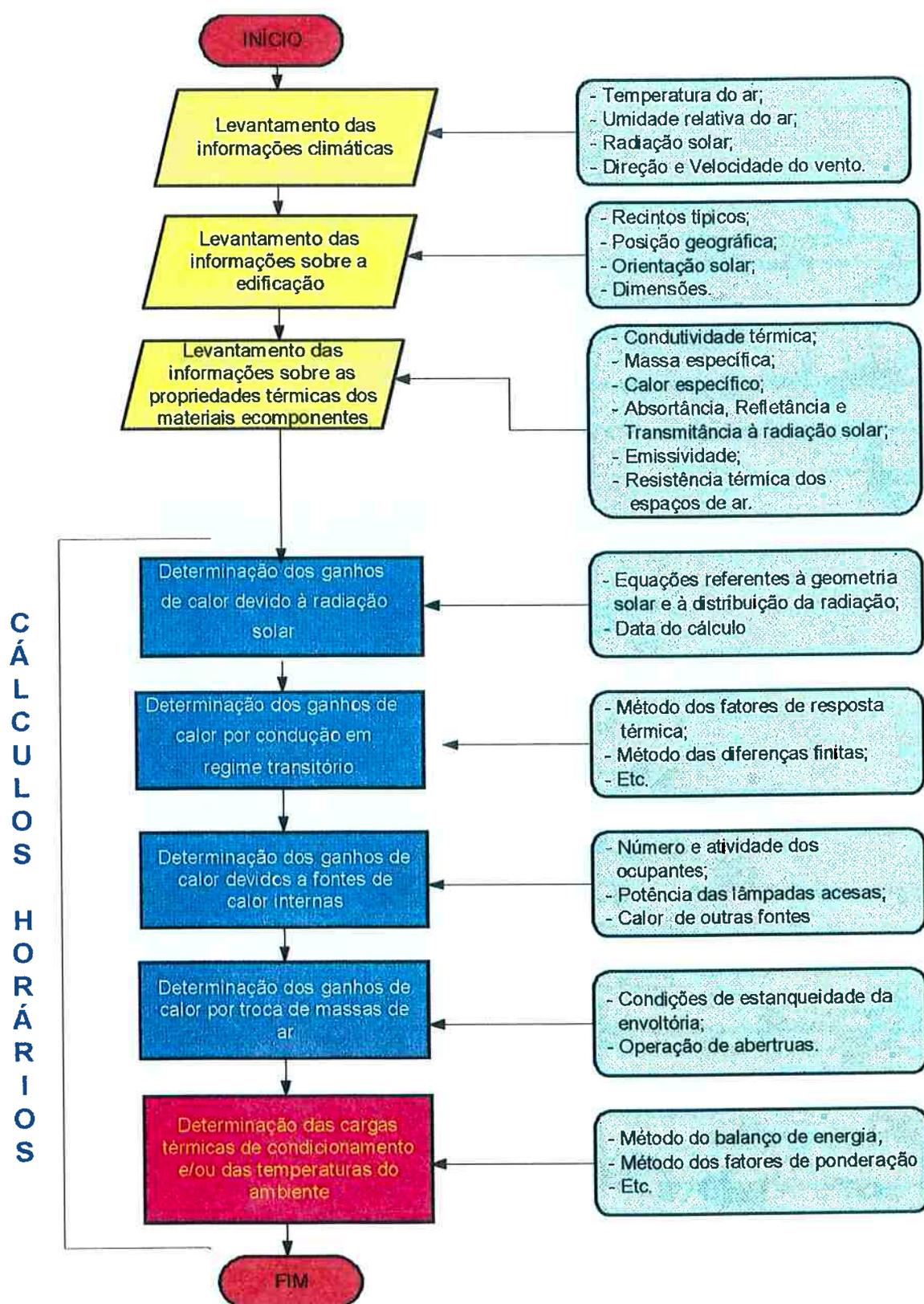


Figura 11: Elementos principais que devem compor os “softwares” de simulação do comportamento térmico de edificações e de seus sistemas de condicionamento.

quanto os das superfícies exteriores de todos os elementos que compõem o ambiente, juntamente com os valores do fluxo de energia térmica nessas superfícies.

Para a realização destes cálculos, emprega o método dos fatores de resposta térmica para os cálculos de transferência de calor por condução e o método dos fatores de ponderação para a determinação de cargas térmicas de condicionamento.

6.4.2. O programa BLAST:

O programa BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) (USACERL, 1993) foi desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Construção do Exército Americano (USACERL) e constitui, junto com o programa DOE-2, os dois primeiros programas de domínio público nos Estados Unidos para simulação do uso de energia em sistemas de condicionamento térmico de edificações. Neste aspecto, assemelha-se ao programa DOE-2, porém com menos recursos, o que é compensado pelas melhores possibilidades de cálculos relativas à resposta térmica da edificação. Este programa utiliza o método do balanço de energia térmica do ambiente e o método dos fatores de resposta térmica para o cálculo da transferência de calor por condução e permite calcular, hora a hora, as temperaturas superficiais dos elementos e componentes, a temperatura e a umidade relativa do ar e as cargas térmicas de condicionamento de ambientes, considerando as condições dinâmicas de exposição da edificação ao clima e à ocupação.

Por estas razões, e pelo fato dos programas DOE-2 e BLAST terem sido ambos desenvolvidos com financiamento do Governo Federal dos EUA, está em andamento um projeto de desenvolvimento de um novo programa correspondente à fusão destes dois programas, denominado "EnergyPlus", envolvendo diversas instituições de pesquisa dos Estados Unidos. YUILL (1985) fornece alguns resultados de testes realizados com o programa BLAST.

6.4.3. O programa ESP-r:

O programa ESP-r (Energy Simulation Program - research) (ESRU, 1993) vem sendo desenvolvido desde 1974, quando seu módulo básico teve origem como parte de uma pesquisa de doutorado, estando hoje já implantado e em processo de melhoria contínua, no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Strathclyde, na Escócia. Os seus modelos de cálculo utilizam os métodos dos elementos finitos e dos volumes finitos para simular tanto o comportamento térmico dos ambientes como os sistemas de condicionamento térmico. Pelo emprego de tais métodos, permite determinar gradientes de temperatura e distribuição de vazões de ar com grau de refinamento que não podem ser calculados pelos programas anteriormente citados. Desta forma, requer o uso de computadores de porte significativamente maiores que os demais. Isto constitui um fator limitante para a sua utilização, principalmente quando empregado para simular grandes edifícios condicionados. Além disto, requer um detalhamento na entrada de dados que pode ser considerado como exagerado quando comparado com o necessário para os programas anteriores, devido aos modelos matemáticos empregados. Trata-se, portanto, de um excelente programa para a análise de instalações especiais, como por exemplo, salas limpas e veículos.

6.4.4. O uso de programas de simulação no Brasil

O uso de programas de simulação detalhada do comportamento térmico de edificações no Brasil, como os acima descritos no, Brasil está crescendo lentamente, tendo se iniciado no IPT, no início da década de 1980 com a implantação do programa NBSLD (KUSUDA, 1976), tanto para uso em pesquisas como em prestação de serviços, e, posteriormente, no início da década 1990 com o uso do DOE-2 pela Universidade Federal de Santa Catarina, todos visando avaliar o comportamento térmico de edificações.

Atualmente, várias instituições de ensino e pesquisa contam com versões mais novas e atualizadas de todos os programas citados acima, realizando análises energéticas de edificações e de seu sistema de

condicionamento, tanto para efeito de pesquisas como para prestação de serviços. No Apêndice I há cópia de um artigo publicado por mim, em co-autoria com professores da EPUSP, onde é aplicado o programa BLAST para realizar uma análise do consumo de energia de um edifício, variando-se condições ambientais internas. Ressalta-se, contudo, que tais ferramentas de análise ainda não chegaram aos escritórios de projeto de instalações de condicionamento de ar, ao contrário do que ocorre já largamente nos EUA.

6.5. Aspectos adotados

Desses dados, serão aproveitados o conceito de análises de consumo de energia anuais apresentados pela normatização dos EUA, adotando-se os COPs mínimos como valores de referência para instalações de condicionamento de ar. Não será possível adotar diretamente os valores de eficiências energéticas em cargas parciais apresentadas pela ASHRAE/IES 90 por não haver estas informações disponíveis no mercado brasileiro, nem normas técnicas nem laboratórios disponíveis para a sua determinação.

Sobre um valor máximo de eficiência energética para as instalações será utilizado o conceito francês de reduções de 25% no consumo energético dos edifícios.

7. Impacto ambiental

O impacto ambiental de uma instalação de condicionamento de ar é causado potencialmente por 4 elementos: o fluido refrigerante que pode vaziar no momento de manutenções ou devido à falta de estanqueidade do equipamento; os rejeitos térmicos; a poluição química gerada por rejeitos de combustão em sistemas de cogeração; e o ruído gerado pela instalação que poderia perturbar a vizinhança.

A questão do fluido refrigerante será discutida à luz do protocolo de Montreal e de um estudo do BRE, já citado no capítulo 3. A questão da poluição química será tratada tomando como base o Protocolo de Quioto e as leis nacionais sobre emissões atmosféricas e qualidade do ar. Sobre a questão dos rejeitos térmicos serão realizados apenas comentários gerais sobre o assunto, sem se propor a apresentação de um critério de avaliação. Finalmente, com relação ao nível de ruído produzido pelas instalações serão tomadas como referência as normas técnicas nacionais.

7.1. Protocolo de Montreal

No início dos anos setenta começaram a ser expressas as preocupações de que a camada de ozônio fosse vulnerável a danos causados pela liberação de produtos químicos conhecidos como halocarbonos, compostos que contêm cloro, flúor, bromo, carbono e hidrogênio. Acreditava-se que as substâncias destruidoras de ozônio mais comum (ODS) eram as da família dos clorofluorcarbonos, ou CFCs, produzidos pela primeira vez na Bélgica em 1892. Os químicos da General Motors, nos Estados Unidos, descobriram em 1928 que os CFCs eram fluídos de refrigeração eficientes. Por serem estáveis e não-tóxicos, de produção barata, fáceis de estocar e altamente versáteis, os CFCs provaram ser uma gama de produtos químicos industriais de imenso valor. Eles passaram a ser usados em refrigeração, condicionamento de ar e expansão de espumas, como solventes, esterilizantes

e propelentes de aerossóis. Usos importantes para os CFCs foram encontrados a cada década, e a produção mundial, concentrada em grande parte nos Estados Unidos e na Europa ocidental, dobrou a cada cinco anos a partir de 1970.

Ao longo dos últimos 50 anos, outras famílias de produtos químicos - halons, tetracloreto de carbono, metil clorofórmio e brometo de metila - também passaram a ser identificados como destruidores de ozônio. Alguns dos últimos substitutos para CFC desenvolvidos também prejudicam a camada de ozônio, mas em taxas bem menores.

A estabilidade dos CFCs origina as suas propriedades destruidoras de ozônio. Quando liberados para a atmosfera mais baixa - por exemplo através do uso de um spray aerossol, ou de um solvente para limpeza, ou ainda pelo vazamento de um refrigerante - os CFCs persistem tempo suficiente para se difundirem até a estratosfera, onde são degradados pela radiação solar, liberando átomos de cloro, que reagem fortemente com as moléculas de ozônio. O óxido de cloro formado então sofre outras reações que regeneram o cloro original, permitindo que o processo se repita muitas vezes; estima-se que cada átomo de cloro possa destruir 100.000 moléculas de ozônio antes de ser removido da estratosfera. Embora a radiação UV recrie continuamente ozônio a partir de oxigênio, a presença de cloro acelera a destruição do ozônio mas não a sua formação, reduzindo a concentração total de ozônio. Reações semelhantes ocorrem entre bromo e ozônio.

Essas reações são particularmente intensas nas nuvens estratosférica que se formam acima da Antártica na noite extremamente fria do inverno no hemisfério sul. Reações que ocorrem na superfície de partículas de gelo entre as nuvens liberam cloro e bromo em formas ativas que se acumulam ao longo do inverno. Quando o sol surge na primavera as nuvens se desfazem e liberam cloro e bromo ativos que rapidamente destroem o ozônio. O resultado é o "buraco de ozônio", uma área de agudo declínio das concentrações de ozônio sobre a maior parte da Antártica por cerca de dois meses, durante a primavera do hemisfério sul.

A ar estratosférico acima do Ártico é geralmente mais quente e menos confinado do que sobre a Antártica, e menos nuvens se formam ali. A destruição de ozônio no Ártico é portanto menos grave, embora nos últimos anos ela tenha se provado pior do que o esperado. A destruição de ozônio polar é acelerada pela circulação atmosférica, que leva o CFC na estratosfera dos trópicos para ambos os pólos. Observações das concentrações de ozônio estratosférico desde os anos 70 confirmaram a evidência de destruição de ozônio, com variações sazonais. Desde 1979 as concentrações de ozônio caíram cerca de 4% por década nas latitudes médias (30° - 60°) tanto no hemisfério sul quanto no hemisfério norte. As perdas são maiores durante o inverno e a primavera. Na primavera de 1995 as concentrações de ozônio estratosférico sobre a Europa eram 10% a 12% menores do que no meio da década de 1970, e 5% a 10% menores sobre a América do Norte, embora às vezes chegasse a 20% em alguns lugares. (Os trópicos (20°N - 20°S) experimentaram perdas de ozônio menores, ou mesmo nenhuma perda.) As intensidades de UV-B cresceram correspondentemente; no período de 1992-1993 houve os primeiros exemplos relatados de aumentos persistentes sobre regiões densamente povoadas no hemisfério norte. Em 1992 no sul da América do Sul a radiação UV-B dobrou, após uma queda de 50% no ozônio, uma vez que a área de destruição de ozônio em torno do pólo sul sofreu rotação, atingindo a ponta do continente.

Os buracos de ozônio antárticos de 1992 e 1993 foram os mais graves registrados, sendo que o ozônio desapareceu completamente em altitudes de 14 a 19 km em outubro de 1992 e 1993. Acredita-se que partículas da erupção vulcânica do Pinatubo em 1991 tenham acelerado a destruição do ozônio.

De maneira geral, os países industrializados acharam mais fácil do que o previsto eliminar o uso de CFCs. Novas tecnologias se provaram especialmente importantes na indústria de eletrônicos. O setor de expansão de espumas fez uso de água, dióxido de carbono e hidrocarbonetos, bem como de HCFCs. Os setores de refrigeração e condicionamento de ar empregaram largamente HCFCs como alternativas, mas novos equipamentos estão cada

vez mais usando hidrofluorcarbonos inofensivos ao ozônio (HFCs), amônia (o produto químico usado nos primeiros refrigeradores) ou hidrocarbonetos.

Os estoques, ou "bancos", nos quais CFCs foram produzidos antes da eliminação para uso posterior, ajudaram a estender o período de desenvolvimento e testes. Os consumidores também usaram bancos para dar tempo extra ao desenvolvimento de substitutos para halons no combate ao fogo. Outros agentes extintores tais como dióxido de carbono, água, espuma e pó seco são agora amplamente utilizados.

Os esforços para a eliminação nos países industrializados estão agora se concentrando nos HCFCs e no brometo de metila. As Partes do Protocolo de Montreal devem garantir que os HCFCs sejam usados apenas como substitutos diretos para outras ODS onde outras alternativas ambientalmente adequadas não estiveram disponíveis. Os HCFCs foram importantes para o cumprimento das primeiras metas de eliminação de CFC, mas são geralmente considerados muito menos significativos para novos equipamentos disponíveis a médio e longo prazo.

A eliminação do brometo de metila é a questão mais difícil. Isso ocorre parcialmente porque ela envolve um conjunto muito diverso de produtores e consumidores em relação àqueles envolvidos com fluorcarbonos, e também porque as alternativas não estão tão disponíveis. O principal uso é na agricultura, principalmente para a fumigação no controle de pragas e ervas daninhas; tal tratamento é freqüentemente exigido por importadores.

No centro do protocolo de Montreal estão as medidas de controle que ele impõe sobre a produção e o consumo de substâncias destruidoras de ozônio (ODS). O Artigo 2 do acordo define cronogramas de eliminação para as várias categorias de ODS. Esses cronogramas foram sendo progressivamente acelerados com o tempo através dos acordos alcançados em Londres (1990), Copenhague (1992) e Viena (1995).

De acordo com esses cronogramas, a maior parte das ODS - incluindo todas as substâncias especificadas no Protocolo original - foram eliminadas completamente nos países industrializados até o final de 1995. As categorias

remanescentes estão com sua eliminação total prevista para 2.010 (brometo de metila) e 2.030 (HCFCs). Os países em desenvolvimento, entretanto, têm períodos de eliminação mais longos.

A produção é definida como produção total menos as quantidades destruídas e usadas como matérias primas químicas e agentes de processos. O consumo é definido como produção mais importações menos exportações. O comércio de ODS usadas e recicladas não está incluído no cálculo do consumo, a fim de estimular a coleta, a recuperação e a reciclagem. "Usos essenciais" para os quais ainda não foram identificadas alternativas estão isentos de controles; a principal isenção é atualmente concedida aos CFCs para uso em inaladores com dosador para asma. O Protocolo inclui restrições ao comércio com não-Partes do tratado. Estas restrições têm o objetivo de encorajar a adesão dos países, bem como impedir a transferência da produção de ODS para países não-Parte, numa tentativa de escapar dos controles. Exige-se que as Partes proíbam a importação de CFCs e halons de não-Partes a partir de 1990 (um ano após o Protocolo ter entrado em vigor; exportações para não-Partes foram proibidas a partir de 1993. Importações de bens contendo CFCs (por exemplo, refrigeradores) também foram proibidas a partir de 1993. À medida que novas substâncias foram sendo acrescentadas aos cronogramas de eliminação, as cláusulas sobre o comércio foram sendo gradualmente estendidas, embora elas ainda não cubram HCFCs, HBFCs ou brometo de metila. As restrições ao comércio não se aplicam contra um país não-Parte que está ainda assim obedecendo os cronogramas de controle. (CETESB, 2000).

No Reino Unido, o BRE (1991a) apresentou uma tabela contendo o status dos principais CFCs e seus derivados em relação à sua inserção no protocolo de Montreal e o seu grau de agressividade tanto para a camada de ozônio como a sua contribuição para o aquecimento global. O potencial de destruição da camada de ozônio foi usado na escala apresentada na seção 3.3 para premiar os edifícios. Este número representa o potencial de destruição da camada de ozônio por unidade de massa do gás destruidor. Nesta escala, tomou-se o R11 como padrão. Assim, por exemplo, um composto com

potencial de 0,60, como o R 115, irá produzir uma destruição da camada de ozônio, por unidade de massa do R 115, de apenas 60% do que seria produzido por uma unidade de massa do R11.

Lá é fixado um limite de potencial máximo para o potencial de destruição da camada (PDO) de O₃ de 0,06 (valor atingido apenas pelos HCFC), quando o edifício ganharia um ponto, e um ponto extra para cada 0,03 de redução adicional no potencial de destruição da camada de ozônio.

Tabela 10: Potencial de ataque ambiental de fluidos refrigerantes e derivados de CFC.

Substância	Tipo	Fórmula Química	Protocolo de Montreal	Potencial de destruição do Ozônio (R 11 = 1)	Potencial de aquecimento global (CO ₂ =1)	Inflamabilidade
R11	CFC	CCl ₃ F	Sim	1,00	1500	Não
R12	CFC	CCl ₂ F ₂	Sim	1,00	4500	Não
R22	HCFC	CHClF ₂	(Não)	0,05	510	Não
R113	CFC	CCl ₂ FCClF ₂	Sim	0,8	2100	Não
R114	CFC	CClF ₂ CClF ₂	Sim	1,00	5500	Não
R115	CFC	CClF ₂ CF ₃	Sim	0,60	7400	Não
R123	HCFC	CHCl ₂ CF ₃	(Não)	0,02	29	Não
R124	HCFC	CHClF ₂ CF ₃	(Não)	0,02	150	Não
R125	HFC	CHF ₂ CF ₃	Não	0	860	Não
R134a	HFC	CF ₃ CH ₂ F	Não	0	420	Não
R141b	HCFC	CH ₃ CCl ₂ F	(Não)	0,08	150	Leve
R142b	HCFC	CH ₃ CClF ₂	(Não)	0,06	540	Leve
R152a		CH ₃ CHF ₂	Não	0	47	Moderada
R500	HFC	R12/R152a	Sim	0,74	3333	Não
R502		R22/R115	Sim	0,33	4038	Não
H1211	Halon	CF ₂ ClBr	Sim	3,00	?	Não
H1301	Halon	CF ₃ Br	Sim	10,00	5800	Não
H2402	Halon	C ₂ F ₄ Br ₂	Sim	8,00	?	Não

Esta foi a única quantificação encontrada para o potencial de agressão a camada de ozônio.

7.2. O protocolo de Quioto

A Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, firmada durante a ECO 92, prevê o plano de ação para o controle e para a redução de emissão de gases de efeito estufa. Na terceira Conferência das Partes (denominada como COP entre os profissionais voltados ao tema meio

ambiente), realizada de 1 a 10 de dezembro de 1997, foi adotado o Protocolo de Quioto, que estabelece metas quantitativas para a redução de emissões de gases de efeito estufa por parte de um grupo de países, principalmente aqueles desenvolvidos e economias em transição. A meta estabelecida para a primeira fase de implementação do Protocolo, entre 2008 e 2012, é de reduzir as emissões dos 6 gases aos quais é debitado o efeito estufa (Tabela 11) até pelo menos 5% abaixo dos níveis detectados em 1990.

Tabela 11: Gases responsáveis pelo efeito estufa.

Gás	Fórmula Química / Acrônimo
Dióxido de carbono	CO ₂
Metano	CH ₄
Óxido nitroso	N ₂ O
Hidrofluorcarbonos	HFCs
Perfluorcarbonos	PFCs
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆

Este tema, de difícil entendimento para a opinião pública era, até recentemente, objeto de incertezas científicas. O resultado final representa vitória de preocupações ambientais sobre o imediatismo econômico. Mesmo se criticadas por certas organizações não-governamentais como modestas, as metas de redução de emissão de gases de efeito estufa estabelecidas serão, na prática, de muito superiores aos percentuais acordados em Quioto, tendo em vista que as emissões aumentaram consideravelmente desde 1990. Em alguns casos tais reduções, poderão mesmo chegar a 20% ou 30%.

A meta de redução de emissão de gases de efeito estufa adotada foi de 5,2% (ano base 1990) para o conjunto dos países do Anexo I (OCDE e economias de transição) da Convenção. Tal meta é global e deverá ser atingida no período de 2008 a 2012. Percentuais individuais foram alocados aos diferentes países, a saber: membros da União Européia 8%; Estados Unidos 7%; Japão 6%; Canadá 6%; Rússia e Ucrânia 0% (estabilização), Austrália 8% de aumento de emissões, Noruega 1% de aumento de emissões.

A diferenciação resultou de acerto político entre os diversos países, o que permitiu a alguns a possibilidade de aumentarem as suas emissões.

Arranjo similar ocorreu no seio da União Européia (conceito da Bolha Européia), segundo o qual um grupo de países poderá atingir de forma conjunta as metas de redução. No caso europeu, isso significa que Portugal, Espanha e Grécia poderão aumentar as suas emissões, ao passo que outros países, como a Alemanha, deverão fazer reduções adicionais para que a redução global coincida com a meta estabelecida no Protocolo.

O Protocolo adotado não prevê compromissos de redução de emissões de gases de efeito estufa para os países em desenvolvimento. A proposta de inclusão de um artigo que previa a possibilidade de adesão voluntária dos países em desenvolvimento a compromissos de redução de emissão foi rejeitada pela grande maioria dos países do G-77 e China, tendo sido eliminada do texto final. Foi também rejeitada em plenário proposta da Nova Zelândia que visava estabelecer desde já processo negociador para definição de metas de redução para os países em desenvolvimento em meados da próxima década.

O Protocolo prevê três mecanismos principais para o cumprimento das obrigações de redução de emissões: a) o comércio de emissões, que consiste na compra e venda, entre países com compromissos de redução, de "créditos" de redução de emissões; b) a implementação conjunta, por meio da qual empresas ou países com compromissos de redução de emissões financiam projetos de redução de emissões em outros países que tenham tais compromissos, em troca de créditos a serem contabilizados em seus próprios compromissos de redução; e c) o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), que permite que países que tenham compromissos de redução de emissões adquiram créditos contra seus compromissos ao empreender atividades redutoras de gases de efeito estufa em países que não têm tais compromissos - em geral, países em desenvolvimento - contribuindo para o desenvolvimento sustentável nestes últimos. É por meio do MDL que serão geradas as principais oportunidades de negócios no Brasil no âmbito do Protocolo.

O MDL funcionará da seguinte maneira: empresas ou países com compromissos de redução de emissões realizarão em países em

desenvolvimento investimentos que permitam a redução de emissões ou o aumento da absorção de emissões pela atmosfera - por exemplo, por meio do reflorestamento. Entidades autorizadas emitirão certificados atestando o volume de redução gerado pelo projeto. Os financiadores do projeto utilizarão esses certificados para abater as reduções obtidas de seus compromissos. Para os países com compromissos de redução de emissões, as vantagens do MDL em relação aos outros mecanismos previstos no Protocolo são os custos, menores, de redução de emissões nos países em desenvolvimento; e o fato de que, uma vez que o Protocolo houver entrado em vigor, as reduções contabilizadas a partir de 2000 poderão ser deduzidas dos compromissos estipulados - a utilização dos outros mecanismos só permitirá considerar as reduções obtidas entre 2008 e 2012. Para os países em desenvolvimento, o MDL representa uma importante fonte de recursos financeiros e de negócios no mercado de certificados de reduções de emissões.

O Protocolo entrará em vigor quando houver sido ratificado por 55 signatários, entre os quais países com compromissos de redução de emissões que juntos, reúnam pelo menos 55% das emissões, em 1990, do conjunto de países com compromissos de redução. Atualmente, apenas 29 dos 84 signatários o ratificaram. As conclusões da 6ª COP serão determinantes para a ratificação por parte dos demais, entre os quais o Brasil (MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2000).

7.3. Legislação brasileira sobre poluição química gerada pela combustão.

A legislação brasileira sobre rejeitos químicos de fontes fixas de combustão só pode ser analisada se primeiro for avaliada o que é definido como padrões de qualidade do ar que balizarão as taxas de emissões destas fontes.

Um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são

baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Neste contexto se enquadram as instalações que se utilizam equipamentos de cogeração.

Através da Portaria Normativa nº 348 (IBAMA, 1990), o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados através da Portaria GM 0231 de 27/04/76. Os padrões estabelecidos através dessa portaria foram submetidos ao CONAMA e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90 (CONAMA, 1990a). São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e secundários.

São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Deve ser aplicado a áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos a curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários. Como prevê a própria Resolução CONAMA nº 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido.

A mesma resolução prevê ainda que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas os padrões aplicáveis serão os primários.

Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90 são apresentados abaixo.

Tabela 12: Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário µg/m ³	Padrão secundário µg/m ³	Método de medição
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1) MGA (2)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Dióxido de Enxofre	24 horas MAA (3)	365 80	100 40	Pararosanilina
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas	40.000/ 35 ppm 10.000/ (9 ppm)	40.000/ 35 ppm 10.000/ (9 ppm)	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas (1) MAA (3)	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas (1) MAA (3)	150 50	150 50	Separação Inercial / Filtração
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1) MAA (3)	320 100	190 100	Quimiluminescência

Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.
Média geométrica anual.
Média aritmética anual.

Visando atender a estes requisitos, foi publicada uma resolução da CONAMA nº 008/90 de 06/12/90 (CONAMA, 1990b), que estabelece limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas com potências nominais até 70 MW e superiores, estando transcritos a seguir os seus principais aspectos técnicos.

“RESOLUÇÃO/conama/N.º 008 de 06 de dezembro de 1990

Publicada no D.O.U, de 28/12/90, Seção I, Pág. 25.539

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981,

alterada pela Lei nº 8.028, de 12 de abril de 1990, regulamentadas pelo Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e ... RESOLVE:

Art. 1º - Estabelecer, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (setenta megawatts) e superiores.

§ 1º - A definição de limites máximos de emissão é aquela dada pela Resolução CONAMA nº 05, de 15.06.89, que instituiu o PRONAR.

§ 2º - Para os efeitos desta Resolução fontes novas de poluição são aquelas pertencentes a empreendimentos cujas LP venha a ser solicitada aos órgãos licenciadores competentes após a publicação desta Resolução.

§ 3º - Entende-se por processo de combustão externa em fontes fixas toda a queima de substâncias combustíveis realizada nos seguintes equipamentos: caldeiras; geradores de vapor; centrais para a geração de energia elétrica; fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica incineradores e gaseificadores.

Art 2º - Para efeitos desta Resolução, ficam definidos os seguintes limites máximos de emissão para partículas totais e dióxido de enxofre (SO₂), (sublinhado pelo autor) expressos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível e densidade colorimétrica, consoante a classificação de usos pretendidos definidas pelo PRONAR.

2. Para novas fontes fixas com potência nominal total igual ou inferior a 70 MW (setenta megawatts).

2.1.1 Áreas Classe I

2.1.1.1 Áreas a serem atmosféricamente preservadas (Unidades de Conservação com exceção das (APA'S).

Nestas áreas fica proibida qualquer atividade econômica que gere poluição do ar.

2.1.1.2 Áreas a serem atmosféricamente conservadas (lazer, turismo, estâncias climáticas, hidrominerais e hidrotermais)

a) Partículas Totais

- 120 (cento e vinte) gramas por milhão de quilocalorias.

b) Densidade Colorimétrica

- Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente a Escala de Ringelmann nº 01, exceto na operação de ramonagem e na partida do equipamento.

c) Dióxido de Enxofre (SO₂)

- 2.000 (dois mil) gramas por milhão de quilocalorias.

d) O limite de consumo de óleo combustível por fonte fixa, (correspondente à capacidade nominal total do(s) equipamento(s)), será de 3.000 toneladas por ano. Consumos de óleo superiores ao ora estabelecido, ou o use de outros

combustíveis estarão sujeitos à aprovação do órgão Estadual do Meio Ambiente por ocasião do licenciamento ambiental.

2.1.2 Áreas Classe II e III

a) Partículas Totais

- 350 (trezentos e cinquenta) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível).

- 1.500 (hum mil e quinhentos) gramas por milhão de quilocalorias (para carvão mineral).

b) Densidade Colorimétrica

- Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente a Escala de Ringelmann nº 01, exceto na operação de ramonagem e na partida do equipamento.

c) Dióxido de Enxofre (SO₂)

- 5.000 (cinco mil) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível e carvão mineral).

2.2 Para novas fontes fixas com potência nominal total superior a 70MW (setenta megawatts).

2.2.1 Áreas Classe I

Nestas áreas não será permitida a instalação de novas fontes fixas com este porte.

2.2.2 Áreas Classe II e III

a) Partículas Totais

- 120 (cento e vinte) gramas por milhão de quilocalorias (para óleo combustível).

- 800 (oitocentos) gramas por milhão de quilocalorias (para carvão mineral).

b) Densidade Colorimétrica

- Máximo de 20% (vinte por cento), equivalente a Escala de Ringelmann nº 01, exceto na operação de ramonagem ou na partida do equipamento.

c) Dióxido de Enxofre (SO₂)

- 2.000 (dois mil) gramas por milhão de quilocalorias para óleo combustível e carvão mineral.”

É interessante notar que a legislação nacional não se ateu às taxas de geração de CO₂ ou de outros produtos citados no protocolo de Quioto, dando atenção apenas às taxas de emissão dos poluentes de maior agressividade à saúde humana, o que é plenamente justificável por ser anterior ao protocolo. Talvez em atualizações futuras esta preocupação seja introduzida.

Para a sistemática aqui em desenvolvimento serão adotadas as especificações apresentadas pela **RESOLUÇÃO/conama/N.º 008 de 06 de dezembro de 1990**, para limitar as emissões de instalações de cogeração.

7.4. Ruído gerado pela instalação de ar condicionado

Da mesma forma que o ruído gerado internamente ao edifício pela instalação causa transtorno aos ocupantes dos recintos, o ruído gerado por condensadores, torres de resfriamento, etc. para fora da edificação pode provocar incômodos aos vizinhos.

A questão do ruído em meio urbano é regulamentado tanto em legislação, como por exemplo a lei do silêncio do município de São Paulo, como na Normalização da ABNT na norma NBR 10151/2000. Estes documentos apresentam valores limites para a emissão de ruídos de fontes fixas.

Tabela 13: Valores limites de ruído produzido, em dB (A), por fontes fixas segundo a Norma NBR 10151.

Tipos de áreas	Período	
	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

A norma NBR 10151 também fornece o método e as condições para a realização das medições que devem ser feitas para se avaliar o atendimento das exigências citadas. Mais especificamente, esta Norma determina que, no caso geral, todas as medições sejam feitas a 2 m de distância da divisa do terreno e de qualquer outra superfície refletora do ruído e a 1,2m de altura do piso. Caso haja reclamações de vizinhos em pontos/locais bem determinados, as medições deverão ser feitas nestes locais.

Todas estas informações serão utilizadas na sistemática em desenvolvimento.

7.5. Rejeitos térmicos e consumo de energia

Os rejeitos térmicos de processos sempre tentaram ser minimizados visando o aumento do rendimento dos ciclos térmicos em geral. No caso das instalações de ar condicionado, a dissipação do calor retirado do ambiente pelo sistema de condicionamento de ar, somado à energia necessária para acionamento do ciclo sempre foi rejeitado para o ambiente, contribuindo, ainda que de maneira modesta frente a outras fontes, para o fenômeno da ilha de calor nas metrópoles.

Contudo, tal situação não é, costumeiramente alvo de maiores atenções, uma vez que buscar-se a utilização de trocadores de calor visando aproveitar este rejeito térmico para, por exemplo, o aquecimento de água tem-se mostrado não interessante economicamente.

Não foram encontradas, em literatura, critérios que limitassem os rejeitos térmicos. Desta forma, tal aspecto não será aqui abordado.

8. Projeto da Instalação

Para avaliar o projeto da instalação com relação à sua adequação à manutenção e à satisfação de necessidades dos seus usuários, serão analisadas as portarias da vigilância sanitária que estabelecem programas obrigatórios de manutenção e as Normas ABNT que são por elas referenciadas, e recomendações da ACCA- Air Conditioning Contractors Of America acerca de um bom projeto de instalações de condicionamento de ar. O capítulo será finalizado com algumas observações originadas da experiência prática do autor desta tese.

8.1. Recomendações da ACCA

A ACCA- Air Conditioning Contractors Of America, em seu site apresenta as seguintes recomendações acerca de cuidados a serem tomados quando da execução de uma manutenção preventiva em uma instalação de condicionamento de ar:

- Localize o termostato e acione-o, verificando se o sistema responde a este estímulo;
- Inspeccione todas as grelhas e registros procurando por sujidades. Elas podem indicar que o filtro e/ou o duto está sujo, sendo necessária sua limpeza.
- Verifique os filtros de ar, limpando-os se estiverem sujos;
- Inspeccione o estado do isolamento térmico dos dutos que atravessam espaços não condicionados e verifique se há frestas com vazamento de ar nas conexões.
- Verifique as condições das serpentinas de evaporação em busca de pontos de ferrugem, ou sujidades e verifique se o dreno não está entupido.

8.2. Legislação Nacional

8.2.1. A Portaria 3523 em 26 de agosto de 1998

Anexo à Portaria 3523, o Ministério da Saúde aprovou um Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização, para garantir a Qualidade do Ar de Interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados. As medidas aprovadas por este Regulamento Técnico aplicam-se aos ambientes climatizados de uso coletivo já existentes e aqueles a serem executados e, de forma complementar, aos regidos por normas e regulamentos específicos.

Contudo, após uma análise mais aprofundada, verifica-se que a portaria estabelece as operações de manutenção também de forma genérica, porém um pouco mais detalhada quando trata de produtos de limpeza a serem usados nos diversos componentes da instalação, deixando ainda lacunas que não são suficientes para garantir os objetivos buscados.

O Artigo 2º da portaria determina que serão objeto de Regulamento Técnico a ser elaborado por este Ministério (regulamento editado somente em outubro de 2000 e citado no capítulo 4 desta tese), medidas específicas referentes a padrões de qualidade do ar em ambientes climatizados, no que diz respeito a definição de parâmetros físicos e composição química do ar de interiores, a identificação dos poluentes de natureza física, química e biológica, suas tolerâncias e métodos de controle, bem como pré-requisitos de projetos de instalação e de execução de sistemas de climatização.

No seu Artigo 5º são apresentadas algumas especificações de caráter mais técnico, abaixo transcritas:

- manter limpos os componentes do sistema de climatização, tais como: bandejas, serpentinas, umidificadores, ventiladores e dutos, de forma a evitar a difusão ou multiplicação de agentes nocivos à saúde humana e manter a boa qualidade do ar interno.
- utilizar, na limpeza dos componentes do sistema de climatização, produtos biodegradáveis devidamente registrados no Ministério da Saúde para esse fim.
- verificar periodicamente as condições físicas dos filtros e mantê-los em condições de operação. Promover a sua substituição quando necessária.
- restringir a utilização do compartimento onde está instalada a caixa de mistura do ar de retorno e ar de renovação, ao uso exclusivo do sistema de climatização. É proibido conter no mesmo compartimento materiais, produtos ou utensílios.
- preservar a captação de ar externo livre de possíveis fontes poluentes externas que apresentem riscos à saúde humana e dotá-la no mínimo de filtro classe G1(um), conforme as especificações do Anexo II.
- garantir a adequada renovação do ar de interior dos ambientes climatizados, ou seja no mínimo de 27 m³/h/pessoa.
- descartar as sujidades sólidas, retiradas do sistema de climatização após a limpeza, acondicionadas em sacos de material resistente e porosidade adequada, para evitar o espalhamento de partículas inaláveis.

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

- implantar e manter disponível no imóvel um Plano de Manutenção, Operação e Controle - PMOC, adotado para o sistema de climatização. Este Plano deve conter a identificação do estabelecimento que possui ambientes climatizados, a descrição das atividades a serem desenvolvidas, a periodicidade das mesmas, as recomendações a serem adotadas em

situações de falha do equipamento e de emergência, para garantia de segurança do sistema de climatização e outras de interesse, conforme especificações contidas no Anexo I deste Regulamento Técnico e NBR 13971/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

- garantir a aplicação do PMOC por intermédio da execução contínua direta ou indireta deste serviço.
- manter disponível o registro da execução dos procedimentos estabelecidos no PMOC.
- divulgar os procedimentos e resultados das atividades de manutenção, operação e controle aos ocupantes.

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

Ficou estabelecido que o não cumprimento deste Regulamento Técnico configura infração sanitária, sujeitando o proprietário ou locatário do imóvel ou preposto, bem como o responsável técnico, quando exigido, às penalidades previstas na Lei n.º 6.437, de 20 de agosto de 1977, sem prejuízo de outras penalidades previstas em legislação específica.

Apesar dos termos “duros” que estão empregados no texto da portaria, a sua eficácia fica fortemente prejudicada, uma vez que não são apresentados valores limites para os contaminantes, nem prazos para a execução das atividades de manutenção apresentadas, tanto no Anexo I da portaria como na Norma NBR 13971/97. Esta limitação só foi superada com a publicação da Resolução - RE n º 176, de 24 de outubro de 2000 que apresenta o quadro abaixo com periodicidades de manutenção mínimas de elementos do sistema de ar condicionado.

Tabela 14: Periodicidade de manutenção recomendada pela resolução RE n ° 176.

<i>Componente</i>	<i>Periodicidade</i>
<i>Tomada de ar externo</i>	<i>mensal</i>
<i>Unidade filtrante</i>	<i>mensal</i>
<i>Serpentina de aquecimento</i>	<i>mensal</i>
<i>Serpentina de resfriamento</i>	<i>mensal</i>
<i>Umificador</i>	<i>mensal</i>
<i>Ventilador</i>	<i>semestral</i>
<i>Plenum de mistura/casa de máquinas</i>	<i>semestral</i>
<i>Inspeção</i>	<i>semestral</i>

8.3. Normas Técnicas

8.3.1. NBR 13971/97

A norma brasileira NBR 13971/97 - Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação – Manutenção programada, apresenta uma lista bem extensa de ações tanto de caráter de manutenção preventiva, como de verificação visual, realização de ajustes, realização de medições de pressão, temperatura e vazão visando fornecer orientações básicas para os responsáveis pela execução da manutenção das instalações de condicionamento de ar.

Os elementos contemplados são (usando-se a terminologia da própria norma):

- Ventiladores, tratados de maneira geral, independentemente do seu modelo;
- Trocadores de calor, divididos em:
 - ❖ Aquecedores de fluido;
 - ❖ Aquecedores de ar elétricos;
 - ❖ Resfriadores de ar;
 - ❖ Evaporadores;

- ❖ Trocadores de calor de contracorrente ou de corrente cruzada;
- Filtros de ar;
 - ❖ Filtros rotativos automáticos
 - ❖ Filtros secos;
 - ❖ Filtros eletrostáticos
 - ❖ Filtros absorventes e adsorventes;
 - ❖ Filtros de alta eficiência;
 - ❖ Filtros embebidos em óleo;
- Umidificadores de ar e eliminadores de gotas;
 - ❖ Umidificadores com lavadores de ar incorporado;
 - ❖ Umidificadores de ar com gerador de vapor elétrico incorporado;
 - ❖ Umidificadores de ar com vapor de rede externa
 - ❖ Geradores de vapor;
- Componentes de distribuição e difusão de ar;
 - ❖ Venezianas, grelhas e difusores;
 - ❖ Registro corta-fogo;
 - ❖ Dispositivo para controle de vazão;
 - ❖ Dutos e câmara plenum para ar;
 - ❖ Unidades de indução;
 - ❖ Dispositivos para expansão e mistura;
- Sistemas e quadros elétricos
 - ❖ Sistemas elétricos e eletrônicos;
 - ❖ Sistemas de comando pneumático;
- Elementos de acionamento/transmissão mecânica
 - ❖ Motores elétricos;
 - ❖ Polias e correias;

- ❖ Acoplamentos;
- ❖ Correntes e rodas dentadas;
- ❖ Redutores;
- Sistemas Hidráulicos
 - ❖ Bombas;
 - ❖ Válvulas de controle e bloqueio
 - ❖ Filtros;
 - ❖ Tubulações tanques e acessórios;
- Compressores (alternativo, parafuso e centrífugo)
- Componentes do sistema - circuito refrigerante
 - ❖ Tubulações
 - ❖ Válvulas
 - ❖ Acessórios
- Torres de resfriamento
- Instrumentação

A Norma ainda especifica a formação profissional recomendada para cada atividade. Porém, suas recomendações têm caráter genérico e não especifica critérios para determinação da periodicidade destas atividades.

8.3.2. NBR 14679/2001

A recém aprovada NBR 14679/2001 trata da limpeza de dutos de distribuição de ar. Apesar da especificidade do tema, os aspectos abordados são de caráter mais burocrático, com conteúdo técnico relativamente restrito. A única exigência de desempenho está na apresentação de laudos técnicos de inspeção microbiológica antes e após o processo de limpeza.

8.4. Cuidados de projeto

Os principais aspectos a serem considerados na manutenção de uma instalação estão considerados nas normas anteriormente citadas. Vale, contudo, complementá-las com aspectos específicos de projeto que contribuirão para o seu bom desempenho.

Inicialmente, deve-se considerar se a tomada de ar externo está distante de fontes de contaminação como próximo ao solo onde há grande acúmulo de poeira, próximo a carros ou estacionamentos, depósitos de lixo, torres de resfriamento, pontos de acúmulo de água, nas vizinhanças de chaminés, etc. Ainda na tomada de ar, deve-se garantir que as grelhas estejam desobstruídas e limpas.

O elemento a seguir é a própria sala onde está o ventilador e onde é feita a alimentação do dutos. É comum este recinto ter pequenas dimensões o que dificulta a manutenção ou, caso ele seja espaçoso ser ocupado como depósito de materiais inservíveis, estando alguns sujos. Esta sujeira acaba sendo carregada para a tubulação e insuflada no ambiente.



Foto 3: Janela em andar elevado, onde está a grelha de tomada de ar com filtro.



Foto 4: "Fan-coil" em sala com dimensão adequada para trabalhos de limpeza e manutenção.

Os elementos sensores (termostatos e umidostatos) também devem ser considerados. O seu posicionamento deve ser tal que eles meçam as reais condições ambientais, devendo portanto estar situados longe de fontes de calor (como lâmpadas). Além disto, deve ser instalado pelo menos um sensor de temperatura por zona.

Outra questão a ser considerada é o posicionamento, o controle de vazão e a obstrução das bocas de distribuição de ar. Destes elementos, provavelmente o que ocorre com maior frequência em reformas ou quando o projeto da instalação de condicionamento de ar não é feito no início do projeto da edificação é a incompatibilidade entre os dutos da instalação e outros elementos estruturais. Na Foto 5 tem-se um exemplo em que o duto de distribuição de ar foi colocado abaixo das nervuras da laje e deslocado em relação ao sistema de iluminação artificial.



Foto 5: Dutos de distribuição de ar em posição compatível com a estrutura da edificação e com o sistema de iluminação artificial.

Dadas as constantes mudanças de leiaute que ocorrem em escritórios, que normalmente ocupam andares inteiros, o sistema deve apresentar flexibilidade para permitir mudanças de vazões de ar fornecidas ao longo do

prédio. Isto pode ser conseguido com o uso de “dampers” em ramais, reservando alguma sobra de potência no sistema (ventilador/bombas/“chillers”) ou ainda prever o uso de “plenuns” balanceados (o que na prática é difícil de se conseguir). Ressalte-se que estas sobras de potência devem ser “administradas” por sistemas que não aumentem o consumo de energia total, como por exemplo o uso de variadores de frequência em motores, e não o emprego de válvulas de desvio de fluidos.

Outro aspecto muito valorizado pelas normas de conforto é a possibilidade de que o próprio usuário controle as condições térmicas ao seu redor. Uma técnica que está em franco desenvolvimento para permitir este controle é a insuflação de ar pelo piso. Nesta situação, costuma-se adotar o conceito de um “lago” de ar frio sob um piso elevado com aberturas de insuflação dotadas de grelhas ou até de pequeno ventiladores que fazem o papel de bombas de sucção que retiram o ar frio deste reservatório e o insuflam na região ocupada. Por o fluxo de ar estar incidindo diretamente sobre os ocupantes, a tendência é de trabalhar com temperaturas de insuflação bem mais altas que as utilizadas na insuflação pelo piso. Ressalte-se contudo que este enfoque ainda é inovador não estando devidamente contemplado nas normas e legislações. Este caráter inovador gera algumas novas preocupações, como por exemplo manter uma sobrepressão homogênea neste “lago” que não cause o deslocamento das placas de piso.

Outro aspecto que merece especial atenção e para o qual ainda não há critérios definidos para sua avaliação é o espaço ocupado no edifício pela instalação de condicionamento de ar. Uma técnica muito utilizada de distribuição de ar é utilizar um único ventilador, de grande vazão, servindo a vários espaços. Isto faz com que grandes dutos precisem percorrer grandes extensões e exigindo o rebaixamento de forros, ou elevação de pisos em dimensões, que, para fugir de interferências com vigas, sistemas de iluminação, de combate a incêndio, etc, podem causar reduções no pé-direito de até 0,8 m.

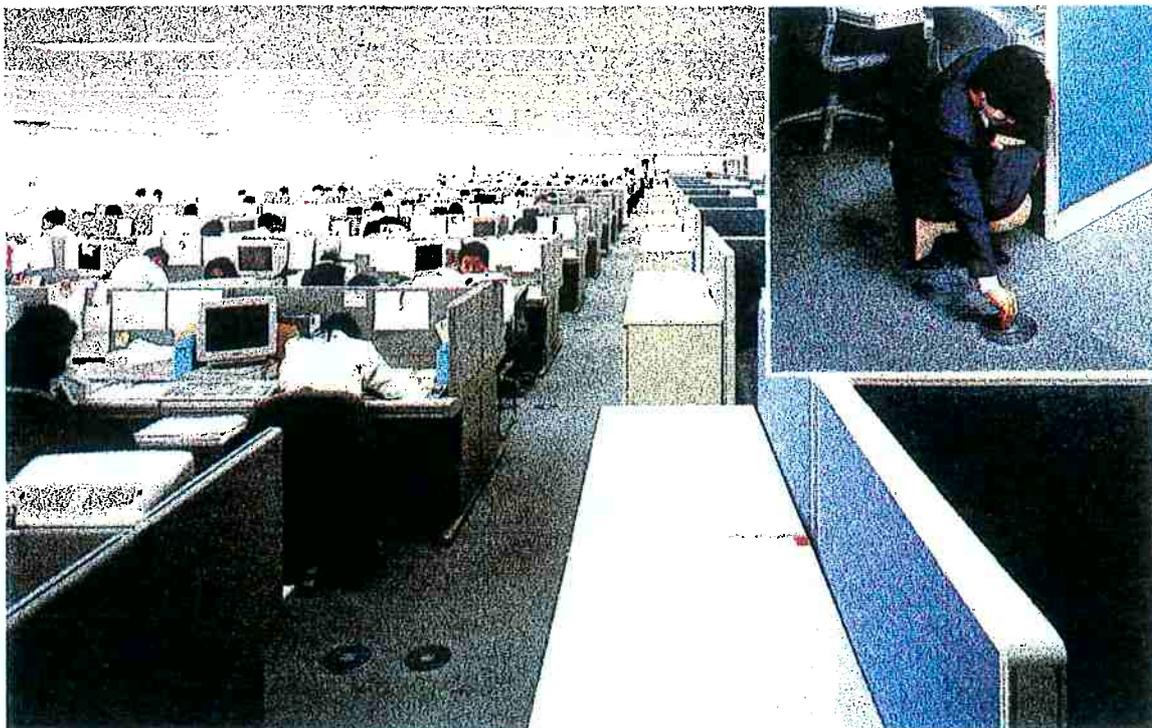


Foto 6: Vista de um escritório com insuflação de ar pelo piso.

8.5. Aspectos Adotados

Para a sistemática aqui proposta serão adotados: a obrigatoriedade expressa nas portarias da vigilância sanitária de se ter um programa de manutenção preventiva para as instalações de condicionamento de ar; alguns tópicos acerca de cuidados de projeto contidos nas recomendações da ACCA e outros fruto da experiência pessoal.

Para não tornar esta parte da sistemática proposta com caráter totalmente prescritivo, serão atribuídos pontos técnicos à estes aspectos, transformando-os parcialmente em aspectos de desempenho.

9. Custo durante a vida da instalação

Um aspecto que tem prioridade para um comprador na seleção de um bem ou serviço, além, obviamente de sua função, é o seu custo.

A análise econômica de investimentos, levando em conta todos os fluxos de capital envolvidos no processo, devidamente atualizados no tempo por taxas de juros de interesse, já é uma prática corrente em empreendimentos industriais há alguns anos. Entretanto, no setor de construção civil e das suas instalações prediais, nestas incluídas as instalações de ar condicionado, este conceito ainda é novo, mesmo em termos internacionais, e pouco aplicado no âmbito nacional. Neste capítulo será apresentado um histórico do uso desta técnica no mundo, analisando-se as recomendações de normas técnicas internacionais sobre o assunto e terminando com comentários sobre a sua aplicabilidade ao Brasil

9.1. A análise econômica de instalações de ar condicionado no mundo.

A realização de análises econômicas baseadas nos custos e benefícios operacionais de sistemas, ao longo de sua vida útil, teve início nos Estados Unidos na década de 1960 avaliando-se armamentos. Na década de 1970, ainda nos EUA, esta forma de análise passou a ser empregada em edificações e suas instalações, estando hoje plenamente difundida naquele país, no Reino Unido e em diversas outras Nações. Este conceito de custo de ciclo de vida (life cycle cost – LCC) começou a ser empregado no Japão no início da década de 1980 e ainda não se encontra totalmente consolidado (JICA, 1992).

Segundo pesquisa realizada no Japão (JICA, 1992), somente 24% dos arquitetos projetistas de edificações preocupavam-se com conceito de manutenção predial e com o custo que está associado a esta atividade e à sua operação, ou seja, com o custo durante a vida útil da edificação. No início da década de 1990 é que começou a haver uma maior conscientização, tanto por

parte de projetistas como de proprietários de edifícios de que muitas vezes o custo inicial (de construção de um empreendimento), até aquele momento o único custo valorizado, é apenas a ponta de um iceberg. Segundo esta analogia, estão sob o mar, e portanto invisíveis todos os demais custos existentes na operação e até demolição de um edifício, que são entre duas a quatro vezes maiores que o custo inicial da edificação (ver Figura 12).

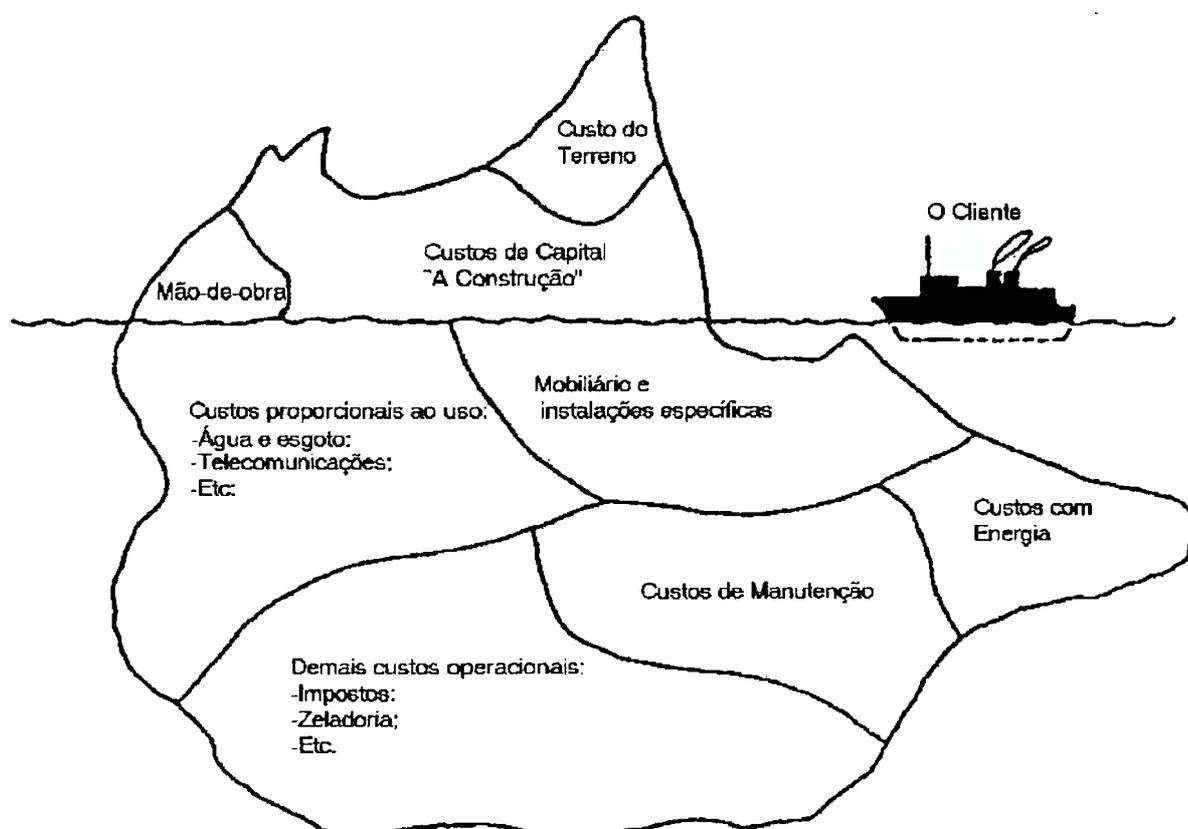


Figura 12: Representação metafórica de custos iniciais e de operação de um edifício. (BLANCHARD apud JICA, 1992).

Como pano de fundo, a estes dados, vale ressaltar algumas informações sobre a vida dos edifícios comerciais no Japão (JICA, 1992). A vida útil média de um edifício comercial do setor privado no Japão, na segunda metade do século XX, tem sido de 30 anos, sendo quase obrigatória sua demolição após este período, pois sua atualização tecnológica seria mais custosa que a execução de um novo empreendimento, ou ainda por questões de

comercialização do terreno onde o prédio está instalado. Com relação ao setor público, há uma lei estabelecendo como vida útil para edificações em concreto armado o prazo de 65 anos, impondo assim uma política de manutenção periódica a fim de garantir o bom estado do prédio e a sua adequação ao uso. Espera-se que a vida útil de uma instalação de ar condicionado esteja dentro destes períodos. Não haveria vantagem em que esta instalação tivesse vida útil maior que o resto do edifício, pois seu aproveitamento a outro empreendimento é quase impossível, pois elas são feitas quase que “sob medida” para cada edificação.

Nos Estados Unidos, no final da década de 1980 e início da década de 1990, foi editada uma série de normas ASTM para a realização da análise econômica de investimentos em edifícios e suas instalações. Estas normas apresentam os métodos clássicos de análise econômica empregados rotineiramente na análise de investimentos em geral, como o método da taxa interna de retorno, o método do valor presente líquido, porém com exemplos e recomendações específicos para sua aplicação a edifícios. Na Tabela 15 é apresentada a relação destas normas.

Este conjunto de normas é complementada ainda por outra norma de código ASTM E 1185-93 que apresenta recomendações com relação a qual das normas acima relacionadas adotar em função da análise que se deseja fazer. Na Tabela 16 é apresentada uma transcrição da Tabela 1 desta norma, onde tem-se uma síntese das recomendações constantes desse documento.

Tabela 15: Relação de Normas ASTM usadas para avaliação financeira de investimentos

Código	Título em Inglês	Título em Português
E 833	Terminology of Building Economics.	Terminologia de Economia em Construção
E 917	Practice for Measuring Life-Cycle Cost of Buildings and Building Systems.	Método para avaliação do custo do ciclo de vida de construções e sistemas construtivos
E 964	Practice for Measuring Benefit-to-Coast and Savings-to-Investment Ratios for Buildings and Building Systems .	Método para avaliação do custo/benefício e a razão de economia para o investimento para construções e sistemas construtivos
E 1057	Practice for Measuring Internal Rate of Return and Adjusted Internal Rate of Return for investments in Buildings and Building Systems.	Método para razão interna de avaliação de retorno de investimentos em construções e sistemas construtivos.
E 1074	Practice for Measuring Net Benefits for Investments in Buildings and Building Systems	Método para avaliação da rede de benefícios para investimentos em Construções e sistemas construtivos.
E 1121	Practice for Measuring Payback for Investments in Buildings and Building Systems.	Método para avaliação do retorno de pagamento para investimentos em construções e sistemas construtivos.

Tabela 16: Normas a serem utilizadas em análises econômicas de investimentos realizados em edifícios e suas instalações, segundo a ASTM E 1185-93 (A)

Tipo de decisão com relação ao edifício	Normas Aplicáveis				
	E 917	E 964	E 1057	E 1074	E 1121
Aceitação ou rejeição	B	B	B	B	C
Projeto qualitativo	B	D	D	B	E
Dimensionamento	B	D	D	B	E
Priorização entre alternativas	E	B	B	E	E

Legenda:

A – Todas as normas requerem o uso de operações de desconto, mas somente a norma E 917 explica tais operações em detalhe. Todos os métodos podem ser usadas empregando-se técnicas para tratamento de incerteza e riscos;

B – Norma tecnicamente adequada quando os valores absolutos dos benefícios (economias) e custos, devidamente descontados, são considerados;

C – ver limitações na Norma;

D – Norma tecnicamente adequada quando os valores incrementais de benefícios (economias) e custos, devidamente descontados, são considerados, preferencialmente, em relação a uma situação de referência;

E – Não recomendada.

A norma ASTM E 1185 é um documento orientativo, porém resumido das demais normas. Detalhes acerca de suas limitações e potenciais podem ser obtidos no próprio documento onde o método de cálculo é apresentado.

Há também um “software” que operacionaliza os métodos acima relacionados desenvolvido pelo NIST em 1991, bem como uma base de dados, disponível junto à ASTM, como “adjunto”, a esta série de Normas, com informações sobre custos e prazos de reparos, manutenções e substituições em elementos das edificações norte-americanas. Contudo, não possível ter acesso a este material até o presente momento. Seria desejável o desenvolvimento de uma base de dados como esta para o Brasil.

9.2. Premissas da ASTM E 917 aplicada às instalações de condicionamento de ar.

Segundo a Norma ASTM E 917/94, uma análise econômica de alternativas de instalações prediais deve ter, entre outras, as seguintes premissas:

- Todas as alternativas analisadas devem proporcionar ao usuário final da instalação iguais condições ou serviços ou produtos;
- A análise deve ser feita com mesma duração para todas as alternativas analisadas;
- Em todas as análises de consumo de energia, os perfis de ocupação e uso do edifício devem ser os mesmos. Neste particular, o discutido na capítulo referente ao desempenho energético deve ser considerado;
- Caso seja possível, deve ser computado o ganho conseguido com o aumento de produtividade dos ocupantes/trabalhadores do edifício;
- As limitações relativas a disponibilidade de fundos deve ser considerada desde o início das análises.

Especificamente para as instalações de ar condicionado, a análise econômica deve contemplar:

- Com relação à exigência de que o usuário final tenha iguais condições ambientais, os parâmetros físicos a serem adotados já estão apresentados no capítulo 5. Porém, deve ser considerada a condição externa de projeto adotada no dimensionamento da instalação. Garantir condições satisfatórias de conforto térmico em condições climáticas com diferentes frequências de ocorrência pode gerar sistemas de condicionamento térmico de porte, e portanto custo, significativamente diferentes.
- Devem ser considerados todos os demais aspectos considerados nos capítulos 6 a 8, pois todos representam aspectos técnicos diferenciais;

Relativamente aos valores monetários envolvidos, tem-se:

- Custo inicial, dado pela somatória dos valores gastos com:
 - ❖ Projeto da instalação e taxas, como ARTs no CREA, licenças para armazenamento de combustíveis em instalações de cogeração, ;
 - ❖ Todos os equipamentos (“chillers”, ventiladores, serpentinas, dutos de distribuição de ar, filtros, torres de resfriamento, etc.);
 - ❖ Instalação elétrica para acionamento;
 - ❖ Mão-de-obra para a instalação (dutos, tubulações de água gelada, máquina de resfriamento, etc.);
 - ❖ Adaptações na obra civil necessárias para o bom funcionamento da instalação, como andares de serviço, reforços em lajes, guias necessárias ao içamento de equipamentos, etc.;
 - ❖ Espaço utilizado pela instalação, que poderia estar sendo comercializado;
- Custo de operação da instalação, dado pela somatória dos gastos com:
 - ❖ Energia consumida na operação do sistema;
 - ❖ Materiais, equipamentos e insumos consumidos ou substituídos em manutenções preventivas e corretivas de equipamentos e na limpeza e descontaminação de dutos, bacias de coleta de condensado, torres de resfriamento;
 - ❖ Mão-de-obra utilizada na operação (significativa em grandes instalações nos chamados “edifícios inteligentes”) e na manutenção e descontaminação das instalações;

- Custo da disposição da instalação, ao final de sua vida útil, dado pela somatória dos valores gastos com:
 - ❖ Obras civis necessárias à remoção da instalação;
 - ❖ Mão-de-obra empregada na desmontagem da instalação e eventual neutralização do fluido refrigerante para preservação do meio ambiente;
 - ❖ Transporte dos materiais e equipamentos até o local de descarte;
- Ganho (gasto negativo) com a venda do equipamento sucateado.

9.3. A análise econômica de instalações de ar condicionado no Brasil

Conforme já citado, no Brasil, as análises financeiras realizadas não são feitas considerando um grau de detalhamento tão grande quanto o acima apresentado, uma vez que:

- Custo dos equipamentos instalados é significativamente maior que os demais custos iniciais. Estima-se um valor de US\$2.000,00 por TR e preço de projeto da instalação de apenas 3% a 5% do valor total da instalação;
- Preço da energia elétrica relativamente baixo para grandes consumidores, mesmo adotando-se o conceito de tarifação horo-sazonal, segundo ANEEL (1999) – vide Anexo B;
- Mão-de-obra técnica ,de nível médio empregada na manutenção da instalação, relativamente barata;
- Falta de dados precisos sobre custos e prazos de manutenção de instalações;
- Elevadas taxas de juros para uma inflação baixa, desestimulando a tomada de empréstimos para o financiamento de instalações de maior custo inicial;
- Incerteza sobre os fundamentos da economia nacional apesar da estabilidade econômica vivida na segunda metade da década de 1990;
- Valor de venda da instalação praticamente desprezível ao término de sua vida útil.

Esta composição de fatores leva a se considerar somente o custo inicial da instalações em empreendimentos de pequeno e médio porte, dando-se atenção ao custo do consumo de energia elétrica apenas nas grandes instalações, onde, mesmo pequenas reduções nos horários de maior tarifação, representam valores monetários significativos.

Tem-se encontrado na literatura (ELETRICIDADE MODERNA, 1999), vários exemplos de reformas gerais de grandes instalações centrais, com aporte significativo de capital e prazo de retorno curto. Porém, estes exemplos publicados, referem-se a instalações superdimensionadas, com máquinas de resfriamento de capacidade muito acima do necessário e operando fora de seu ponto de máximo rendimento; mal conservadas, com perdas significativas em dutos, tubulações, bombas etc.; e com estratégias de controle não otimizadas. Nestas condições podem ser conseguidas grandes reduções do consumo de energia em relação à instalação original (da ordem de 40%), compensando facilmente um grande investimento inicial. Vale ressaltar que esta condição não será encontrada em instalações novas ou quando ainda na fase de projeto, fazendo com que a análise econômica seja conduzida da maneira simplificada acima citada.

A fim de subsidiar as análises econômicas, apresenta-se a no Anexo B uma relação de custos de equipamentos e de operações de manutenção obtida informalmente junto à SMACNA, em São Paulo e de tarifas de energia elétrica.

9.4. Método de Análise Financeira Selecionado

Pelo exposto acima e analisando cada uma das normas ASTM citadas, optou-se por utilizar neste trabalho o método do valor presente líquido (VPL) para a realização dos cálculos econômicos.

Este método consiste em trazer para a data do início dos cálculos, que deve ser coincidente com o início dos pagamentos realizados para o projeto da instalação de ar condicionado, todos os pagamentos feitos durante a instalação e a operação dos equipamentos.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+i)^t} \quad (5),$$

onde:

t = ordem da data de pagamento;

i = taxa de juros/inflação tomada para o cálculo;

P_t = pagamento realizado na data t (pagamentos negativos e recebimentos positivos).

As demais premissas a serem adotadas nos cálculos estão apresentadas em 9.2.

10. Sistemática para avaliação da instalação de condicionamento de ar

A sistemática aqui apresentada utilizará os elementos já destacados nos capítulos anteriores, sendo estabelecidas escalas para cada um dos aspectos não só atribuindo créditos a aspectos positivos, mas também deméritos caso algum requisito não seja atendido plenamente.

Os fatores de ponderação adotados serão aqueles obtidos com a aplicação do método AHP aplicado novamente com base no que foi discutido ao longo dos últimos capítulos.

Cada uma destas escalas será discutida em uma seção a parte a seguir e o capítulo será encerrado com instruções gerais para aplicação da sistemática e com a apresentação de uma planilha resumo. Nos anexos da tese são apresentadas as normas e tabelas com as informações necessárias para a operacionalização dos métodos de avaliação.

10.1. Revisão dos fatores de ponderação pelo método AHP.

Em função das discussões apresentadas nos capítulos anteriores, achou-se melhor rever os fatores de ponderação obtidos no capítulo, com a exclusão do aspecto do custo, abrindo os itens “conforto térmico” em dois (conforto para o corpo todo e desconforto localizado) bem como o “impacto ambiental” (dividido em PDO do refrigerante e Ruído emitido para o exterior). Desta forma, obtém-se a seguinte matriz:

	Conforto térmico-corpo todo	Desconforto	Qualidade do ar interno	Ruído Interno	Desempenho Energético	PDO do ref	Ruído emitido exterior	Projeto	Manutenção	Média Geo	Fator de Ponderação
Conforto térmico-corpo todo		1	3	5	7	9	7	5	5	3.80	0.277
Desconforto localizado	1		3	5	7	9	7	3	5	3.59	0.282
Qualidade do ar interno	1/3	1/3		3	7	9	5	9	1	2.14	0.156
Ruído Interno	1/5	1/5	1/3		7	9	3	3	3	1.41	0.106
Desempenho Energético	1/7	1/7	1/7	1/7		1	1/3	1	1/3	0.33	0.024
PDO do refrigerante	1/9	1/9	1/9	1/9	1		1/9	1/7	1/9	0.19	0.014
Ruído emitido para o exterior	1/7	1/7	1/5	1/3	3	9		1	1	0.69	0.050
Projeto	1/5	1/3	1/9	1/3	1	7	1		1/3	0.56	0.041
Manutenção	1/5	1/5	1	1/3	3	9	1	3		1.01	0.074
										Total: 13.73	1.000

10.2. Avaliação das Condições de Conforto térmico

Para este item, a avaliação será dividida em duas partes: relativa à sensação do corpo como um todo; e relativa à sensação devida a desconfortos localizados. A primeira parte utilizará como indicador a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas com o ambiente térmico como um todo, baseado nos métodos empregados na Norma ISO 7730 (1984). A segunda parte utilizará como indicador a porcentagem de pessoas insatisfeitas com a alta velocidade do ar, conforme apresentado na revisão da própria ISO 7730.

10.2.1. Sensação térmica para o corpo todo

Critério 1: O ambiente térmico deverá apresentar condições tais que a porcentagem de pessoas insatisfeitas com a sensação para o corpo todo seja pequena.

Escala 1: A escala adotada terá como parâmetro a PPI, e concederá 0 (zero) créditos para PPI = 15% e +10 créditos para PPI de 5%. A variação entre estes dois limites será feita de maneira linear, uma vez que toda a resposta física aos

parâmetros ambientais está embutida na determinação de PPI. Seguindo-se esta seqüência, serão atribuídos deméritos a situações em que a PPI for maior que 15%. Esta escala está apresentada na Tabela 17.

Tabela 17: Relação entre PPI e créditos para os limites da escala 1.

PPI (%)	Créditos
5	+10
6	+9
7	+8
8	+7
9	+6
10	+5
11	+4
12	+3
13	+2
14	+1
15	0
16	-1
17	-2

10.2.2. Desconforto causado por circulação de ar

Critério 2: O ambiente térmico deverá apresentar condições tais que a porcentagem de pessoas insatisfeitas com a sensação resfriamento localizado devido a alta velocidade do ar seja o mais baixa possível.

Escala 2: A escala adotada terá como parâmetro o IVA, e concederá 0 (zero) créditos para IVA = 25% e +10 créditos para IVA de 5%. Da mesma forma que para a escala 1, a variação entre estes dois limites será feita de maneira linear, uma vez que toda a resposta física aos parâmetros ambientais está embutida na determinação de IVA.

Observe-se que os limites tanto da escala 1, como da escala 2 correspondem aos limites propostos para a classe "C" a ser adotada para a revisão das normas de conforto ISO 7730 (1984) e ANSI/ASHRAE 55 (1995).

10.2.3. Método de verificação.

Para os dois aspectos acima citados, o único método de avaliação confiável é a realização de medições "in loco", em recintos típicos, em dias típicos de verão, nas posições onde estão os ocupantes, quando a capacidade

do equipamento de ar condicionado está sendo exigida ao máximo, utilizando instrumentos especificados nas Normas ISO 7726 (1985) ou ASHRAE 55/95. O cálculo do VME e PPI pode ser feito utilizando-se o programa de computador apresentado na norma ISO 7730 ou com base nas tabelas contida nesta norma.

Para se calcular a PPI é necessário conhecer dois aspectos relativos ao ocupante: a sua taxa metabólica, função de sua atividade no interior dos recintos, e da resistência térmica de sua roupa. Para determinar estes parâmetros, basta consultar as tabelas contidas na norma ISO 7730.

Observe-se que quando se fala nas posições onde estão os ocupantes, passamos a ter que fazer medições em vários locais, gerando portanto diversas notas, que não podem ser todas somadas para efeito da pontuação técnica total. Desta forma, para continuar tendo um índice único, será utilizada apenas a média destes valores. Os valores das notas para cada posto de trabalho servirá para um “pente fino” nas instalações, indicando locais com necessidades específicas.

10.3. Avaliação da qualidade do ar.

A avaliação da qualidade do ar utilizará como referência as exigências da Resolução - RE n ° 176 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000), da vigilância sanitária para o estabelecimento das condições mínimas a serem atendidas e atribuirá créditos conforme a concentração de CO₂ no ambiente.

10.3.1. Exigência mínima

Critério 3: : A qualidade do ar deve ser tal que não cause dissabores a 80% dos ocupantes dos recintos.

Escala 3: A de atribuição de pontos estará vinculada especificamente à concentração de CO₂, porém somente poderá ser aplicada se os demais limites apresentados na Resolução - RE n ° 176, de 24 de outubro de 2000 forem satisfeitos, ou seja:

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

Quando este valor for ultrapassado ou a relação I/E for $> 1,5$, é necessário fazer um diagnóstico de fontes para uma intervenção corretiva.

É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos.

- Os Valores Máximos Recomendáveis para contaminação química são:

- ≤ 1000 ppm de dióxido de carbono (CO₂), como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar.
- ≤ 80 mg/m³ de aerodispersóides totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado.

Caso estes limites não forem atendidos, esta sistemática não poderá ser aplicada.

10.3.2. Concentração de CO₂

Para o caso da concentração de CO₂, será atribuída a pontuação técnica conforme tabela a seguir:

Tabela 18: Escala para valoração da qualidade do ar interno.

Concentração de CO ₂ no ar interno	Créditos
1000 ppm	0
900 ppm	+1
800 ppm	+2
700 ppm	+3
600 ppm	+4
500 ppm	+5
400 ppm	+6

Apesar da qualidade do ar interno ser de grande importância, não serão atribuídos +10 créditos a este aspecto por não poder se garantir somente com a concentração de CO₂ condições plenamente satisfatórias, deixando assim espaço para complementações futuras nesta própria escala para a análise de outros contaminantes.

Método de Avaliação: Realizar medições “in loco”, em dias típicos de trabalho, nas posições de trabalho, segundo as Normas Técnicas 001, 002, 003 e 004, Anexas à Resolução - RE n^o 176. – apresentadas no anexo D desta tese.

Alternativamente, em ambientes onde não houver fumantes e outras fontes de CO₂, a concentração deste gás poderá ser calculada, fazendo-se um balanço de massa no ambiente, a partir da concentração externa e da taxa de produção deste gás, que pode ser determinada conforme a norma ISO 8996 (2000).

10.4. Avaliação das Condições de Conforto Acústico

Critério 4: O sistema de condicionamento de ar não deve produzir níveis de ruído que incomodem os usuários.

Escala 4: Considerando que na maioria dos casos o ruído é um elemento indesejável nos ambientes, a escala proposta tomará como referencial o nível de ruído de fundo já presente e, caso o ruído produzido pela instalação exceda os limites máximos apresentados na NBR 10152 (1987), a pontuação total será reduzida em função do acréscimo no nível de pressão sonora causado pela operação do condicionador de ar.

Será debitado um ponto a cada 3 dB(A) (a cada vez que se dobrar o nível de energia sonora) de acréscimos no nível total de pressão sonora do recinto, acima dos limites da NBR 10152. Observe-se que acréscimos de 3 dB são perfeitamente perceptíveis por pessoas de boa saúde auditiva, enquanto, que acréscimos de pressão sonora menores que este patamar já não são totalmente perceptíveis.

Excepcionalmente, será concedido +1 um ponto às instalações de condicionamento de ar cuja operação não produzam aumento perceptível no nível de ruído de fundo do ambiente, ou seja, o nível de ruído da instalação, isoladamente deve ser 10 dB (A) menor que o nível de ruído de fundo.

Método de Avaliação: Realizar medições “in loco” dos níveis de ruído, em dB(A), em locais típicos no interior dos ambientes condicionados, durante dias de trabalho normais, com e sem o equipamento de condicionamento de ar operando.

Vale ressaltar que apesar das análises realizadas utilizando os critérios NC fornecerem maiores informações, pois os resultados são apresentados por faixa de oitava, os valores em dB (A) são de mais difícil mensuração e composição. Além disto, como a principal fonte de ruído é o movimento/escoamento de ar, que tem o nível ruído quase que homogêneo em todas as faixas de frequência (conforme discussão verbal com equipe técnica do Laboratório de Acústica do IPT) os resultados em dB(A) ou na escala NC normalmente são comparáveis.

10.5. Avaliação do desempenho energético

A determinação do consumo energético em sistemas de ar condicionado pode ser feita tanto a partir de medições "in loco", seja nos circuitos elétricos seja em reservatórios ou condutores de combustíveis. Entretanto, esta prática é de aplicação trabalhosa, e de longa duração. Para ser aplicada requer também instrumental mais específico.

Porém, ao contrário da maior parte das avaliações apresentadas nas seções anteriores que só podem ser executadas com confiabilidade por meio de medições, as estimativas do consumo de energia nos sistemas de condicionamento ambiental podem ser feitas utilizando-se softwares de simulação do comportamento térmico de edificações, como o BLAST, o DOE-2 acima descritos. A sistemática proposta irá se basear nestas ferramentas

Critério 5: O Consumo anual de energia ou consumo em dias típicos (um de verão e outro de inverno – ponderados), devem refletir um desempenho energético adequado ou melhor do que o de uma instalação padrão.

Escala 5: A escala apresentará uma variação contínua, tendo como limites:

+0 (zero) créditos: Consumos totais diários de energia, em dias típicos de, iguais às instalações de referência, detalhadas a seguir.

+10 créditos: Consumo total diário de energia da instalação sob avaliação =0,75 Consumo total diário de energia da instalação de referência. (Filosofia adotada pelo governo Francês de reduções cumulativas de 25% sobre o

patamar anterior (já foi aplicada 4 vezes nos últimos 25 anos – primeira legislação de 1977)

A escala de variação adotada usará o conceito de eficiência energética sazonal da instalação, dada por:

$$SEER = \frac{\text{Calor Retirado}}{\text{Consumo de Energia}}, \quad (6)$$

Como o calor a ser retirado é o mesmo, para todas as instalações sob avaliação, e se busca reduzir o consumo energético em 25%, estaria-se buscando aumentar a eficiência energética em 33,3% (1/0,75). Desta forma, será atribuída a seguinte escala de pontos técnicos, baseada em uma redução linear do consumo de energia que representa uma exigência de aumento de eficiência global da instalação segundo uma equação do tipo “1/x”.

Tabela 19: Pontuação técnica em função das relações entre as eficiências energéticas das instalações.

Relação entre os consumos energéticos (instalação em avaliação / instalação de referência)	Créditos
1,000	+0
0,975	+1
0,950	+2
0,925	+3
0,900	+4
0,875	+5
0,850	+6
0,825	+7
0,800	+8
0,875	+9
0,750	+10

Forma de avaliação: Para instalações de grande porte, via softwares de simulação tipo DOE 2 ou BLAST. A priori, os dois softwares de simulação tem resultados muito semelhantes quando utilizados para a determinação de cargas térmicas e consumos de energia, não sendo necessário especificar um detrimento do outro. Para instalações de pequeno porte, basta uma comparação entre os COPs.

É necessário, contudo, estabelecer outros parâmetros básicos para se realizar a avaliação:

- As instalações de referência são:
 - ❖ Sistemas unitários ou splits, ou outros sistemas all-air, de pequeno porte, com os COPs e rendimentos mínimos definidos na Norma ASHRAE 90 (vide anexo A)
 - ❖ Sistemas centrais com distribuição de água gelada, composto por: “chiller” compressão a vapor, torre de resfriamento, sistema de distribuição de água gelada por bombas, dutos e fan-coils, sem o uso recursos extras como a cogeração ou termo-acumulação. Os COPs e rendimentos mínimos definidos na Norma ASHRAE 90 (vide anexo A);
 - ❖ Admite-se que todos os elementos são acionados por eletricidade consumida, diretamente da rede da concessionária de distribuição.
 - ❖ O sistema utiliza vazão de ar constante, com controle de temperatura nos “fan-coils” por meio de redução da vazão de água gelada produzida por variação de rotação nas bombas d’água. A taxa de admissão de ar externo é determinada, mantendo-se como mínimo os valores recomendados na norma NBR 6401.

As tabelas do anexo A indicam além de COPs mínimos, valores de eficiências térmicas sazonais (em condições de carga parcial), que não foram considerados nesta sistemática pois não há normas técnicas nacionais equivalentes para a determinação destes parâmetros.

- As condições climáticas: Para se realizar simulações com resultados de consumos anuais de energia, deve-se ter condições climáticas típicas bem definidas para tal, como os anos típicos usados em programas de simulação nos EUA (TRY – “Typical Reference Year” ou o TMY “Typical Meteorological Year”). Dado que não temos arquivos de dados climáticos anuais, com informações em bases horárias, atualizados, as análises devem ser feitas para 2 dias típicos, um de verão e outro de inverno. Um método para determinar os dados climáticos que caracterizarão estes dias típicos a partir de dados climáticos médios mensais é apresentado por Akutsu (1998).
- Condições de ocupação: Devem ser adotadas nas simulações as condições características de cada empreendimento sob análise.

10.6. Avaliação do impacto ambiental.

Para o impacto ambiental serão considerados na sistemática os aspectos: agressividade do refrigerante à camada de ozônio, limitação das emissões dos resíduos de combustão e nível de ruído produzido externamente pela instalação. Para tanto, teremos como conceito básico o fato de que a instalação de condicionamento de ar não poderá causar perturbações ao entorno próximo ou ao meio ambiente que estejam acima dos limites aceitos nacional ou internacionalmente.

10.6.1. Agressividade do refrigerante à camada de ozônio.

Critério 6: O refrigerante utilizado não deverá causar danos severos ao meio ambiente.

Escala 6: Para o refrigerante utilizado, será adotada a mesma sistemática de pontuação proposta pelo BRE, ou seja, atribuir um ponto para produto com potencial de destruição da camada de ozônio menor que 0,06 e um ponto extra para cada 0,03 de redução neste potencial. Da mesma forma, será subtraído um ponto a cada 0,03 de acréscimo no PDO para valores acima de 0,06. Desta forma, tem-se a seguinte escala de pontos:

Tabela 20: Relação entre pontos técnicos e potencial de destruição da camada de ozônio (PDO).

PDO	Pontos
0,00	+3
0,03	+2
0,06	+1
0,09	-1
0,12	-2
0,15	-3
Etc.	Etc.

Observe-se que embora a redução do PDO de 0,06 para 0,03 represente uma redução à metade na agressão à camada de ozônio e esta redução tenha sido premiada com o dobro da pontuação, tal tendência não é mantida pelo BRE na redução seguinte de PDO (de 0,03 para 0,00), que

representa uma redução total, de 100%, que foi agraciada com apenas +1 ponto, indicando uma tendência conservadora de proteção ao meio ambiente, via uma linearização de escala. Caso fosse mantido o conceito original de redução à metade do PDO gerar +1, o conceito +2 deveria ser atribuído à PDO de 0,015, +3 a 0,0075 e assim sucessivamente. Este conceito mais conservador foi mantida nesta linearização aqui proposta para os deméritos.

Método de Avaliação: Realizar vistoria “in loco” para determinar o tipo de refrigerante utilizado verificando a placa do equipamento, ou via documentação técnica do chiller;

10.6.2. Nível de ruído gerado.

Critério 7: O nível de ruído gerado externamente à edificação pelo equipamento não deverá causar perturbações à vizinhança.

Escala 7: Da mesma forma que para o ruído interno, o ruído externo é um elemento indesejável nos ambientes, a escala proposta será igual à proposta para o ruído interno e tomará como referencial o nível de ruído de fundo já presente sem a operação do sistema de condicionamento de ar, caso o ruído produzido pela instalação exceda os limites máximos apresentados na NBR 10151 (norma específica para ruído comunitário), a pontuação total será reduzida em função do acréscimo no nível de pressão sonora causado pela operação do condicionador de ar.

Será debitado um ponto a cada 3 dB(A) (a cada vez que se dobrar o nível de energia sonora) de acréscimos no nível total de pressão sonora do recinto, acima dos limites da NBR 10151.

Excepcionalmente, será concedido +1 um ponto às instalações de condicionamento de ar cuja operação não produzam aumento perceptível no nível de ruído de fundo do ambiente, ou seja, o nível de ruído da instalação, isoladamente deve ser 10 dB (A) menor que o nível de ruído de fundo.

Método de Avaliação: Realizar medições “in loco” dos níveis de ruído, em dB(A), ao redor do lote onde o equipamento está instalado, durante dias de

trabalho normais, com e sem o equipamento de condicionamento de ar operando, com os cuidados já citados neste texto.

10.6.3. Emissão de Rejeitos de Combustão

Critério 8: As emissões de resíduos de combustão devem atender os limites máximos expressos na legislação nacional.

Escala 8: Para a escala de emissão de rejeitos de combustão é específica para instalações com cogeração, um tipo particular de instalação de ar condicionado, não haverá acréscimos na pontuação total caso as emissões estejam abaixo dos limites estabelecidos, mas sim a obrigatoriedade de atendimento aos requisitos legais para o seu funcionamento. Estes limites estão resumidos na Tabela 21.

Tabela 21: Limites máximos de emissões especificados pelo CONAMA (1990).

Parâmetro	Potência \leq 70 MW		Potência $>$ 70 MW	
	Classe I	Classe II ou III	Classe I	Classe II ou III
Partículas Totais	120 g/(10 ⁶ kcal)	350 g/(10 ⁶ kcal) óleo 1500 g/(10 ⁶ kcal) carvão	Não Permitido	120 g/(10 ⁶ kcal) óleo 800 g/(10 ⁶ kcal) carvão
Densidade colorimétrica	20% ou equivalente a n01 na escala <i>Ringelmann</i>			20% ou equivalente a n01 na escala <i>Ringelmann</i>
SO ₂	2kg/(10 ⁶ kcal)			2kg/(10 ⁶ kcal)

Contudo, caso se queira fazer uma análise de outros rejeitos, para fins de atribuição dos deméritos ou créditos sugere-se que seja adotada apenas uma das variáveis, admitindo-se que as duas outras variem de modo proporcional à primeira. Será adotada a taxa de emissão de CO₂ por poder ser medida de modo contínuo com equipamentos eletrônicos, como por exemplo aquele apresentado no Anexo D.

Para se estabelecer uma escala de variação, será feita uma análise, da camada de ar ao redor de uma fonte de emissão de poluentes, conforme ilustrado na Figura 13.



Figura 13: Esquema da atmosfera ao redor de uma fonte de emissão de poluentes.

Aplicando-se a equação de conservação de massa para um volume de controle ao redor da atmosfera (representada em azul), tem-se:

$$\frac{dCa}{dt} = mg - ma \quad (7),$$

onde

- Ca = concentração do poluente na atmosfera
- mg = taxa de geração do poluente;
- ma = taxa de absorção e eliminação do poluente, característica da natureza;
- t = unidade de tempo.

Analisando-se a equação acima, verifica-se que a concentração do poluente na atmosfera varia linearmente com a taxa de geração, uma vez que a capacidade da natureza eliminá-lo é praticamente constante. Esta capacidade poderia ser alterada com grandes programas de reflorestamento, mas, ainda assim, o próprio ciclo de permanência na atmosfera de alguns poluentes pode chegar à casa de centenas de anos, como no caso do CO_2 , no qual este período é estimado em 150 anos.

Assim para o CO_2 , a partir de alguma valor de referência poderiam ser atribuídos créditos proporcionalmente à redução na taxa de emissão, atingindo um valor máximo para reduções de 5% (atendendo o protocolo de Quioto) em

relação a um valor de referência, e atribuindo deméritos para emissões acima deste valor de referência.

10.6.4. Método de Avaliação

Para cada uma das três grandezas acima citadas há métodos de medição específicos, alguns citados na Tabela 12, para partículas totais e dióxido de enxofre. Complementarmente, aos métodos lá citados, é necessário a medição conjunta da taxa de consumo de combustível durante o período de medição das emissões.

Este conjunto de características pode ser feito de maneira mais eficaz por órgãos especializados como a CETESB no estado de São Paulo, ou pelo próprio responsável pela instalação com o uso de equipamentos fixos, como medidores eletrônicos contínuos para o caso do SO₂. Desta forma, para avaliação destas variáveis, o responsável pela instalação é que deverá apresentar os valores de emissões.

Apesar desta colocação, a determinação da densidade colorimétrica pode ser feita diretamente pelo aplicador da sistemática, pois consiste em se fazer uma verificação visual do tom de cinza da fumaça emitida, comparando-o com um dos padrões abaixo apresentados.

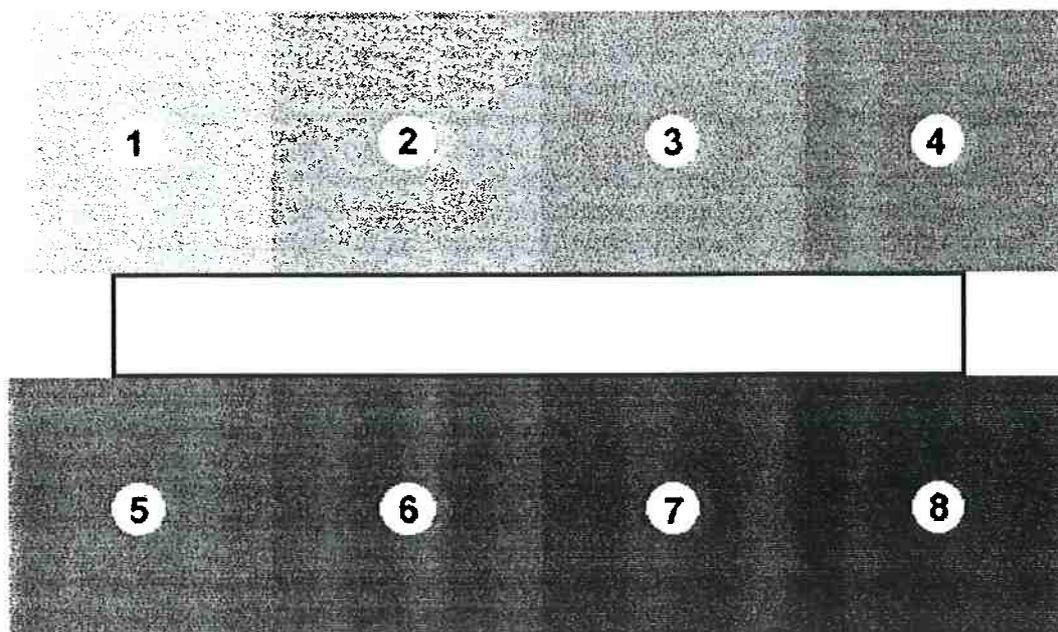


Figura 14: Escala colorimétrica de Ringelmann.

10.7. Manutenção e o projeto

Tanto a Norma ABNT 13971 como a portaria do Ministério da Saúde, não apresentam índices mensuráveis que permitam avaliar a eficiência das ações tomadas sobre a performance das instalações, mas sim ações a serem realizadas, tendo como critério de avaliação a sua execução ou não.

Com relação à qualidade do ar, esta lacuna foi eliminada com a publicação da Portaria do próprio Ministério da Saúde sobre o tema citada no capítulo 5, que estabelece as concentrações máximas permitidas de contaminantes.

Já a manutenção da performance da instalação acerca de seu consumo de energia continua em aberto. Acredito que deveria ser estabelecida uma curva de queda de performance aceitável da instalação ao longo do tempo, decorrente daqueles desgastes naturais de qualquer dispositivo/sistemas eletro-mecânicos operacionais, mesmo passando por um programa de manutenção preventiva adequado. Entretanto, a proposição desta curva, além de ser de difícil estabelecimento, dada a grande variedade de tipos de instalações, seria de difícil verificação pois é necessário a manutenção de condições de carga térmica para a realização da comparação aqui proposta, via medições "in loco". Para tal, mais uma vez, deve-se ter condições climáticas típicas definidas, como os anos típicos usados em programas de simulação nos EUA (TRY – "Typical Reference Year" ou o TMY "Typical Meteorological Year").

Alternativamente, poderia-se propor algum teste expedito para tal, contudo, esta proposição fogem ao escopo da presente tese.

10.7.1. Programa Obrigatório de Manutenção

Critério 9: As práticas de manutenção obrigatórias devem garantir o bom funcionamento da instalação e o atendimento à legislação.

Escala 9: Como trata-se de um item obrigatório por legislação, somente serão atribuídos deméritos a não atendimentos a algum dos itens apresentado no check-list do anexo B.

Método de Avaliação: Realização de auditoria técnica “in loco”, verificando a existência de planilhas de manutenção conformes com a legislação.

10.7.2. Programa de Manutenção Complementar

Critério 10: As práticas de manutenção complementares devem garantir o bom funcionamento da instalação.

Escala 10: Como trata-se de um item complementar à legislação, serão atribuídos tanto créditos como deméritos ao atendimento dos seguintes itens apresentados no check-list a seguir. Esta verificação deverá ser feita pelo menos anualmente.

Tabela 22: Relação de créditos atribuídos a aspectos de manutenção preventiva complementar.

Aspecto	Créditos
Verificação do funcionamento dos termostatos e umidostatos e a resposta do sistema	+2
Verificação do estado do isolamento térmico de dutos e tubulações de água gelada e da sua estanqueidade	+1
Verifique se o termostato não está sujeito a fontes específicas de calor	+1
Em instalações com monitoramento informatizado intensivo, verificar se todos os outros sensores que não da temperatura ambiente estão tendo seus sinais enviados e tratados corretamente	-2 em caso de não atendimento

Método de Avaliação: Realização de auditoria técnica “in loco”, verificando a existência de planilhas de manutenção.

10.7.3. Projeto da Instalação

Critério 11: O projeto da instalação deve prever cuidados que permitam a operação de forma eficiente da instalação.

Escala 11: Será atribuída a pontuação técnica contida na Tabela 23 para cada um dos aspectos relacionado, caso eles tenham sido contemplados no projeto:

Tabela 23: Relação de créditos atribuídos a aspectos de projeto.

Aspecto	Créditos
Tomada de ar externo em local que não comprometa a qualidade do ar interno (longe de fontes de contaminantes)	+1
Termostatos e Umidostatos em todas as zonas que permitam o controle das condições pelos usuários	+2
Dispositivos que permitam <u>ao usuário</u> controlar a circulação de ar sobre o seu corpo	+2
Espaços onde estão as caixas de mistura com pelo menos +1m de largura e +1m de comprimento a fim de permitir o trabalho confortável de equipes de manutenção	+1
Uso de vários circuitos paralelos para distribuição de ar, reduzindo a altura total dos dutos	+1
Sobra de potência no sistema para acomodar redistribuições de pontos de insuflação e “dampers” para permitir o seu controle	+1
Integração com outras instalações e estruturas não tendo interferências entre instalações	+1
Não utilização de dutos horizontais para a distribuição de ar frio em instalações com mais de 15 TR (dutos de aproximadamente 1 m ²)	+1

Método de Avaliação: Realizar análise de projeto e inspeção “in loco”.

10.8. Avaliação do Custo da Instalação

Utilizar uma análise econômica para fornecer pontuação técnica a um sistema de ar condicionado não coaduna perfeitamente com os demais aspectos já abordados, pois o aspecto financeiro, por si só, já está sobrecarregado de julgamento de valor, o valor monetário. Outra questão a ser levantada é a hipótese básica, citada no início deste capítulo, de igualdade de desempenhos entre os dois sistemas para a realização da análise econômica comparativa dos sistemas. Esta igualdade seria materializada, até este momento por uma igualdade de pontuações técnicas obtidas em todos os quesitos anteriores pelos sistemas sob comparação.

Desta forma, a sistemática a seguir apresentada servirá mais para adimensionalizar a análise econômica, permitindo estudos da relação benefício/custo, do que propriamente aumentar a pontuação técnica de um dos sistemas, não impedindo contudo a sua aplicação neste último sentido.

Critério 12: o custo durante o ciclo de vida do equipamento (estimativa 20 anos), deve ser menor do que o custo de uma instalação padrão, definida em 10.5.

Escala 12: A escala de avaliação deve ter como base a relação entre os VPLs da instalação sob avaliação, em relação ao VPL da instalação padrão.

$$PT = \frac{VPL_{\text{padrão}} - VPL_{\text{analisado}}}{VPL_{\text{padrão}}} \cdot \text{Fator de Escala} \quad (8),$$

onde

$VPL_{\text{analisado}}$ = Valor Presente Líquido da instalação sob análise;

$VPL_{\text{padrão}}$ = Valor Presente Líquido da instalação padrão;

Fator de Escala = relação que transformara um número adimensionalizado em pontos técnicos;

A equação 7 resultará em 0 (zero) caso a instalação sob análise apresente o mesmo VPL da instalação padrão, não agregando pontos nem deméritos ao sistema. Caso o $VPL_{\text{analisado}}$ seja maior que $VPL_{\text{padrão}}$, isto representaria uma instalação de pior desempenho, apontando a equação 7 um resultado negativo que já traria os deméritos diretamente, somente amplificados/reduzidos pelo fator de escala. Raciocínio similar pode ser feito para a situação inversa.

Método de Avaliação: Realizar o cálculo do custo do consumo energético anual da instalação padrão e da instalação proposta e, com estes dados e dos respectivos custos iniciais, de manutenção, etc., determinar a relação entre os dois VPLs.

10.9. Forma de aplicação da sistemática e Ficha Resumo

Para a aplicação desta sistemática, deve ser seguido o procedimento:

- Selecionar ambientes típicos, a partir de uma análise da planta da edificação;

- Identificar os postos de trabalho;
- Obter uma planta completa da instalação de condicionamento de ar;
- Levantar as estratégias de controle usadas para bombas d'água, ventiladores, "chillers" e "dampers";
- Obter as curvas de rendimento de "chillers" em função de condições ambientais ou de seu regime de carga;
- Obter o plano de manutenção da instalação.

Com base nestas informações, devem ser feitas as medições das condições ambientais (temperatura, umidade, velocidade do ar, temperatura radiante média, nível de ruído, concentração de contaminantes – CO₂, partículas em suspensão e contaminação biológica) nos postos de trabalho; do nível de ruído gerado pela instalação externamente; e as taxas de emissão de resíduos de combustão.

Posteriormente, deve ser feita uma vistoria técnica do local, para aplicar os questionários acerca das estratégias de manutenção obrigatórias e complementares, apresentados no Anexo E e na Tabela 22 e verificar a conformidade da instalação com as plantas. Nesta vistoria deve ser avaliado se os cuidados de projeto listados na Tabela 23 foram adotados.

Finalmente, realizar simulações em computador para determinar, o desempenho energético da instalação, ou fazer uma análise da relação de COPs.

De maneira geral, pode-se interpretar o índice global como:

- = 0 a instalação apresenta um desempenho médio (equivalente ao de outras instalações);
- valores positivos (com valor máximo de +7,463) indicam uma instalação com desempenho acima da média;
- valores negativos (com valor mínimo de -7,463) indicam uma instalação com desempenho abaixo da média;

A seguir é apresentada uma planilha resumo desta sistemática.

Tabela 24: Planilha contendo o resumo da sistemática.

Parâmetro	Valor do Parâmetro	Unidade	Fator de Ponderação	Pontos Obtidos	Pontuação Máxima
Condições Ambientais					
Conforto térmico					
Taxa metabólica		W/m ²			
Resistência térmica da vestimenta		CLO			
Temperatura do ar		°C			
Umidade relativa do ar		%			
Velocidade do ar		m/s			
Temperatura radiante média		°C			
PPI com o ambiente todo		%	0,277		+10
Intensidade de turbulência		%			
IVA devido à circulação de ar		%	0,262		+10
Qualidade do ar					
Concentração de CO ₂		ppm	0,156		+6 Atendimento Obrigatório
Partículas em suspensão		mg/m ³	—x—		Atendimento Obrigatório
Contaminação biológica		Ufc/m ³	—x—		Atendimento Obrigatório
Acréscimo no Nível de Ruído		dB (A)	0,103		+1
Desempenho Energético					
Relação entre os consumos energéticos (instalação em avaliação / instalação de referência)		Adimensional	0,024		+10
Impacto Ambiental					
Gás Refrigerante		PDO	0,014		+3
Nível de Ruído		dB (A)	0,050		+1
Partículas Totais		g/(10 ⁶ kcal)	—x—		Atendimento Obrigatório
Densidade colorimétrica		1 a 8			
SO ₂		kg/(10 ⁶ kcal)			
Projeto e Programa de Manutenção					
Atendimento às exigências da portaria ministerial		Sim ou Não	—x—		Atendimento Obrigatório
Exigências complementares de manutenção		Sim ou Não	0,073		+4
Adequação do projeto		Sim ou Não	0,041		+10
Custo durante o ciclo de vida					
Comparação do custo com o de uma instalação padrão		Adimensional	—x—		Facultativo
			Pontuação Total Ponderada:		

10.10. Relação entre as escalas

Vale discutir o conceito que está embutido nas diversas escalas de avaliação acima citadas uma vez que se está atribuindo equivalências de pontos técnicos para aspectos de natureza fortemente diferente como níveis de ruído e concentrações internas de contaminantes.

O primeiro aspecto considerado foi o de estabelecer como patamar mínimo de exigência (0 créditos) aqueles valores que representam um desempenho adequado das instalações, segundo normas ou consenso da sociedade.

Como limite máximo de pontuação, buscou-se estabelecer os limites da exequibilidade físico-química dentro dos limites tecnológicos e culturais atuais.

Àqueles aspectos onde os critérios podiam garantir que se havia atingido uma eficiência máxima absoluta, atribuiu-se +10 pontos, como para o conforto térmico, o desempenho energético e aspectos de projeto da instalação. Vale discutir a questão do desempenho energético, onde reduções de 25% parecem modestas, mas, tomando como base o exemplo da França, pode-se dizer que somente, sem se perder a qualidade do ambiente, são conseguidas com ações de longo prazo.

Para os aspectos que não garantem totalmente o atendimento do critério, como a concentração de CO₂ para garantir a salubridade do ar interno e a agressividade do fluido refrigerante para a preservação do meio ambiente. Nestes aspectos deixou-se uma margem para inserção de novos critérios sem ter que fazer grandes alterações na sistemática existente.

Estabelecidos estes limites, buscou-se atribuir mais pontos técnicos (em módulo) a cada vez que a mudança no parâmetro determinado produzisse uma resposta perceptível ao(s) usuário(s), como explicitamente comentado no nível de ruído interno, ou apresentasse potencial para causar resposta sensível, como a presença de termostatos no ambiente, que permite que o usuário altere a temperatura local.

Cabe discutir ainda o quão perceptível seria a resposta. Nesta tese tentou-se deixar todas as escalas no limiar de sua sensibilidade, tentando da o caráter mais "fino" à esta ferramenta de avaliação.

11. Avaliação preliminar da sistemática proposta

Todo indicador de desempenho precisa passar por um processo de avaliação para verificar a sua consistência e sua capacidade de apontar diferenças de desempenho quando cabíveis.

A fim de se fazer uma avaliação preliminar da sistemática proposta foram distribuídos questionários (apresentados a seguir) a diversas pessoas que têm ou podem ter contacto com instalações de ar condicionado a fim de determinar que aspectos são considerados importantes por elas, verificando se todos foram contemplados na referida sistemática, e subsidiar o processo de revisão/geração dos fatores de ponderação.

11.1. Questionário para determinar os fatores de ponderação

O questionário utilizado é apresentado a seguir.

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO.

1. Idade: menos de 20 anos de 21 a 30 de 31 a 40 de 41 a 50 + de 51
2. Sexo: M F
3. Escolaridade: 1º Grau Completo 2º Grau Completo Superior Completo
4. Relação do entrevistado com o ar-condicionado

Usuário	<input type="checkbox"/>
Responsável pela administração/manutenção do edifício ou do ar condicionado	<input type="checkbox"/>
Projetista do Ar-condicionado	<input type="checkbox"/>
Projetista de Edifícios que possam ter ou não ar-condicionado	<input type="checkbox"/>
5. Tipo de prédio do local de trabalho:

Casa/Sobrado, reformado ou não	<input type="checkbox"/>
Edif. até 8 pavimentos.	<input type="checkbox"/>
Edif. com mais de 8 pavimentos.	<input type="checkbox"/>
6. No local que você trabalha tem ar-condicionado? Sim Não
- Se sim, de que tipo?

"Split" <input type="checkbox"/>	Central <input type="checkbox"/>
de janela <input type="checkbox"/>	não sei <input type="checkbox"/>
outro <input type="checkbox"/> : _____	
7. Você tem ar condicionado em casa? Sim Não
8. Você tem ou teve algum problema de saúde causado pelo ar condicionado?

Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não sei <input type="checkbox"/>
------------------------------	------------------------------	----------------------------------

Se sim, qual? _____
 Como foi tratado? _____

9. Em um aparelho/instalação de ar-condicionado, indique qual a importância que você atribui a (assinale com x sua opinião para cada parâmetro):

Parâmetro	nenhuma	pouca	muita	fundamental
Beleza/aparência				
Possibilidade de controlar a temperatura do ambiente				
Possibilidade de controlar a circulação de ar				
Preço de compra/instalação				
Ruído gerado				
Gasto com eletricidade/energia				
Ventilar o ambiente				
Facilidade de manutenção/limpeza				
Espaço perdido pela instalação				
Poluição/agressão ao meio ambiente				
Possibilidade de criar problemas com vizinhos				
Pureza e Qualidade do ar interno				

10. O que você espera de uma boa instalação de ar-condicionado?

11. O que lhe desagrada em instalação de ar-condicionado?

Obrigado por colaborar com a nossa pesquisa.

As perguntas 1 a 3, visam caracterizar o perfil do respondente;

As perguntas 4 a 7 visam determinar qual a relação/experiência do respondente com instalações/equipamentos de condicionamento de ar;

Estes dois conjuntos de perguntas devem ser utilizados para determinar se alguma das respostas dadas a seguir foi condicionada por características específicas de grupos;

A pergunta 8, relativa a qualidade do ar, foi colocada em evidência pois há várias citações, no dia a dia, de problemas respiratórios atribuídos ao ar-condicionado, bem como devido à não sistematização ainda a ser dada à questão dos edifícios doentes;

A(s) pergunta(s) 9 (o plural está indicado pois tem-se vários questionamentos embutidos nesta pergunta) visam avaliar o grau de importância que os respondentes atribuem a cada um dos quesitos tratados;

As perguntas 10 e 11 tem caráter geral a fim de dar liberdade para que o respondente possa se expressar livremente, sem a “camisa de força” do questionário em tópicos, abrindo a possibilidade de serem citados aspectos não considerados anteriormente.

11.2. Tamanho da amostra e dificuldades para distribuição do questionário

Caso consideremos como a população de estudo todas as pessoas que trabalham em edifícios com instalações de condicionamento de ar, pode-se chegar a uma quantidade de pessoas, só na grande São Paulo, extremamente elevada. Em reportagem veiculada pela Rádio Jovem Pan, em Maio de 2001, foi citado que há na cidade de São Paulo mais de 35.000 edifícios com mais de 4 pavimentos. Tomando-se uma estimativa de que metade destas edificações sejam utilizadas para escritórios e que apenas 10% delas tenham instalações de condicionamento de ar, atingimos a marca de 1750 edifícios. Tomando-se uma ocupação média de 500 pessoas por edifício, população fixa, de acordo com IPT,(2000), tem-se uma população total de 875.000 pessoas.

Com uma magnitude desta ordem de grandeza, pode-se adotar sem maiores preocupações a hipótese que as distribuição de probabilidades é normal, para qualquer variável analisada de caráter comum. Como não há ainda nenhuma informação prévia acerca de possíveis extratificações nesta população, será adotado o enfoque de amostragem aleatória simples (COCHRAN, 1977), onde admite-se que qualquer amostra será suficientemente representativa do todo. Observe-se que as primeiras 7 perguntas do questionário representam uma tentativa de se buscar a existência de possíveis extratos que direcionem futuros trabalhos.

Desta forma, o tamanho da amostra “n”, para se conseguir fazer inferências acerca de uma determinada proporção populacional “p”, com nível de significância “ α ”, e margem de erro “e”, é dado por:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{e} \right)^2 \cdot p \cdot (1 - p) \quad (9),$$

com,

Z = variável normal padronizada.

Adotando-se $\alpha=95\%$ e “e” = $\pm 5\%$, valor comumente utilizado em avaliações pós-ocupação (ORNSTEIN, 1992), para uma proporção de $p=0,5$, pior situação a ser testada, tem-se $Z_{\alpha/2} \approx 2$ e o tamanho mínimo da amostra deveria ser de:

$$n = 400 \text{ entrevistados.}$$

Buscou-se atingir o maior número possível de pessoas para atingir a meta de 400 pessoas, tentando a realização da pesquisa em conjunta com outra relativa à segurança ao fogo de edifícios, com o apoio de uma associação de empresas administradoras de condomínios o que facilitaria em muito o alcance da citada meta. Contudo, em meio às tratativas, o trabalho foi descontinuado por medo de que a participação de pessoas de uma entidade como o IPT tivesse um caráter fiscalizador e punitivo. Desta forma, a distribuição dos questionários teve que ser feita em um âmbito mais restrito aumentando a margem de erro das conclusões conforme discutido a seguir.

Inicialmente, distribui-se os questionários junto a engenheiros civis e arquitetos alunos do mestrado profissional em habitação do IPT, esperando que estes se colocassem como “Projetista de Edifícios que possam ter ou não ar-condicionado”, mas, surpreendentemente estes se colocaram quase que de maneira absoluta como “Usuários” de instalações de condicionamento de ar. Esta situação pode ser creditada ao fato de que a maior parte dos integrantes deste grupo (18 pessoas) estarem voltados muito mais a questões relativas ao desenvolvimento de obras segundo projetos já realizados ou como aplicadores

e desenvolvedores de produtos específicos que não a edificação como um todo.

Ainda buscando opiniões de projetistas de edifícios, foram entregues questionários (13) a professores de arquitetura do Unib. Novamente, o número de respondentes que se colocaram como projetistas foi pequena, estando novamente a grande maioria enquadrando-se como “usuários”. Do total dos dois grupos acima, somente 3 pessoas se intitularam projetistas de edifícios.

Em paralelo deu-se prosseguimento ao processo de tentar ter acesso direto a usuários e responsáveis pela manutenção de instalações de condicionamento de ar em grandes edifícios de escritórios.

Conseguiu-se que 8 funcionários de uma grande instituição bancária, que possui ar condicionado central em sua sede e mais 18 usuários de 18 edifícios diferentes da região da Av. Luiz Carlos Berrini, também com sistema de ar condicionado central, respondessem ao questionário. Desta forma, obteve-se uma amostra com tamanho de 59.

Com este tamanho de amostra, aplicando-se a equação 8, ainda com um nível de confiança de 95%, a margem de erro, para “p” = 0,5 é de $\pm 13\%$.

11.3. Resultados Obtidos

São apresentados a seguir os resultados obtidos, transcritos sobre o próprio modelo do questionário adotado.

1. Idade:

menos de 20 anos	(27%)
de 21 a 30	(59%)
de 31 a 40	(14%)
de 41 a 50	(0%)
+ de 51	(0%)

2. Sexo: M **(53%)** F **(47%)**

3. Escolaridade:

1º Grau Completo	(0%)
2º Grau Completo	(15%)

Superior Completo (85%)

4. Relação do entrevistado com o ar-condicionado

Usuário (92%)
 Responsável pela administração/manutenção do edifício ou do ar condicionado (0%)
 Projetista do Ar-condicionado (3%)
 Projetista de Edifícios que possam ter ou não ar-condicionado (5%)

5. Tipo de prédio do local de trabalho:

Casa/Sobrado, reformado ou não (17%)
 Edif. até 8 pavimentos. (24%)
 Edif. com mais de 8 pavimentos. (59%)

6. No local que você trabalha tem ar-condicionado? Sim (69%) Não (31%)

Se sim, de que tipo?

"Split" (7%)
 Central (59%)
 de janela (24%)
 não sei (10%)

7. Você tem ar condicionado em casa? Sim (8%) Não (92%)

8. Você tem ou teve algum problema de saúde causado pelo ar condicionado?

Sim (32%) Não (51%) Não sei (17%)

Se sim, qual?: A maioria quase que absoluta, indicou a ocorrência de gripes/resfriados ou sinusites/rinites. Somente uma pessoa reclamou de uma "baixa em sua resistência geral" e outro de "ressecamento da garganta". O conjunto "gripes/resfriados" foi indicado por aproximadamente metade das pessoas e os outros 50% indicaram o conjunto "sinusites/rinites"

Como foi tratado?: Da mesma forma que na pergunta anterior, a maioria quase que absoluta respondeu "com medicamento", sendo somente uma resposta "com afastamento do local/repouso em casa"

9. Em um aparelho/instalação de ar-condicionado, indique qual a importância que você atribui a (assinale com x sua opinião para cada parâmetro):

Parâmetro	Nenhuma	Pouca	Muita	Fundamental
Beleza/aparência	29%			2%
Possibilidade de controlar a temperatura do ambiente	3%	7%	24%	
Possibilidade de controlar a circulação de ar	7%	3%	27%	
Preço de compra/instalação	12%	10%	34%	24%
Ruído gerado	7%	5%	25%	
Gasto com eletricidade/energia	8%	19%		
Ventilar o ambiente	10%	10%	30%	
Facilidade de manutenção/limpeza	7%	5%	40%	30%
Espaço perdido pela instalação	15%	29%	41%	15%
Poluição/agressão ao meio ambiente	10%	10%	31%	
Possibilidade de criar problemas com vizinhos	20%	19%	37%	24%
Pureza e Qualidade do ar interno	3%	2%	17%	

10. O que você espera de uma boa instalação de ar-condicionado?

- Funcionar bem/eficiente/boa relação custo/benefício (23 respostas) 39,0%
- Garantir o conforto/temperatura adequada (22 respostas) 37,3%
- Funcionar sem muitos gastos/baixa ou fácil manutenção (9 respostas) 15,3%
- Silencioso (8 respostas) 13,6%

- Pureza e qualidade do ar (7 respostas) 11,9%
- Permita o controle da temperatura e de fácil operação (7 respostas) 11,9%
- Econômico/Pouco consumo/baixo custo (4 respostas) 6,8%
- Circulação homogênea de ar/sem jatos sobre ocupantes (2 respostas) 3,4%

Outras respostas com uma única ocorrência: 1,7%

- Sem interferência com a edificação;
- Garanta a Segurança em locais com janelas baixas;
- Pouca sujeira;
- Instalado em local que não cause vibrações.

Ressalta-se que estas respostas com uma única ocorrência foram dadas por usuários de equipamentos de "janela".

11. O que lhe desagrada em instalação de ar-condicionado?

- Barulho (26 respostas) 44,1%
- Má qualidade do ar (6 respostas) 10,2%
- Temperaturas internas inadequadas/choque térmico (6 respostas) 10,2%
- Falta de informações p/Dificuldade de manutenção (5 respostas) 8,5%
- Impossibilidade de controlar as temperaturas (4 respostas) 6,8%
- Transtorno na instalação/sujeira/mão de obra (4 respostas) 6,8%
- Espaço ocupado/Espaço perdido pelos dutos (4 respostas) 6,8%
- Água que sai do aparelho (pingos) (4 respostas) 6,8%
- Tudo (3 respostas) 5,1%
- Nada (2 respostas) 3,4%
- Consumo de energia (2 respostas) 3,4%
- Aspecto Externo (2 respostas) 3,4%
- Gasto/custo (2 respostas) 3,4%

Outras respostas com uma única ocorrência: 1,7%

- Falta de circulação de ar/Pouco controle do "insuflamento"/Velocidade do "insuflamento"
- Obsolescência;
- Complexidade;
- Mau funcionamento;
- Falta de preparo dos projetistas de dutos;
- Complicação construtiva;
- Baixa umidade;
- Desperdício;
- Problemas.

11.4. Análise dos resultados

Considerando-se os resultados das perguntas 1 a 3, verifica-se que:

- Todos os respondentes têm idade relativamente baixa, menor do que 41 anos, estando a grande maioria (86%) com menos de 30 anos, fato este que não permite que sejam realizadas análises tentando identificar tendências nas respostas afetadas pela variável idade. O mesmo se aplica à variável escolaridade, onde a grande maioria (85%) possui curso superior.

- A variável sexo permite que sejam feitas inferências sobre se esta afetou as respostas dadas. Porém, analisando-se a tabela oriunda da pergunta 9, verifica-se que não houve polarizações nos resultados, indicando que parte significativa de cada um dos dois grupos (sexo masculino e sexo feminino) deram as mesmas importâncias às variáveis questionadas. Este resultado é confirmado analisando-se os questionários independentemente.

Com relação às perguntas 5 a 7, verificou-se que a maior parte dos questionados trabalha em grandes edifícios, com equipamentos centrais de ar condicionado e não possui este equipamento em casas. Esta última constatação indica que as respostas atribuídas aos demais itens são fruto da experiência destes usuários em seus locais de trabalho.

Com relação à atribuição de problemas de saúde à existência do equipamento de ar condicionado, uma parcela considerável (32%) dos respondentes fez esta afirmação. Porém, solicitando a indicação do problema de saúde enfrentado, metade indicou “gripe/resfriado”, moléstia de ocorrência corriqueira que pode ser contraída independentemente da existência de sistemas de condicionamento, ficando apenas, aproximadamente 16% das pessoas com sintomas como “rinite/sinusite” que podem ser atribuídos à instalações de condicionamento de ar. O tratamento com remédios reforça esta possibilidade indicando que pessoas mais sensíveis possam ter sido afetadas por um ambiente contaminado. Esta resposta enfatiza a preocupação das pessoas com a qualidade do ar

Dos aspectos avaliados na pergunta 9, verifica-se que, com exceção do quesito “beleza/aparência”, todos os demais são considerados como tendo muita importância ou de importância fundamental. Estas respostas mostram que a todos os aspectos considerados na sistemática podem ser atribuídos fatores de ponderação de mesma ordem de grandeza, sendo contudo, necessário dar importância maior aos aspectos relativos à qualidade do ambiente interno como a pureza do ar, o nível de ruído e a possibilidade de controlar a temperatura e a circulação de ar no ambiente.

As respostas à pergunta 10 reforçam a importância dos aspectos relativos à qualidade do ambiente interno, indicando como de grande importância a garantia do conforto, o funcionamento em condições adequadas (controle de temperatura) segundo as regulagens feitas pelo usuário, sem ruídos e problemas de manutenção. Todas estas respostas apresentaram frequências de ocorrência com dois dígitos (> 10%), o que pode ser considerado muito significativo pois foram respostas espontâneas e não estimuladas, indicando um verdadeiro desejo por parte do respondente. Ressalta-se ainda nestas respostas a pouca importância dada à interface dos equipamentos com a edificação, fato contraditório com a pergunta 9, onde o espaço perdido pela instalação era considerado como importante.

Sobre a pergunta 11, verifica-se que o nível de ruído gerado pelas instalações está atingindo patamares muito elevados, causando grande desconforto aos usuários, uma preocupação muito maior que a própria salubridade, representada pela “qualidade do ar interno”, segunda característica mais apontada como ruim em uma instalação, ao lado de “temperaturas inadequadas para o conforto”.

De maneira geral, avaliando-se todas as respostas, sob outra óptica pode-se constatar que muitas das instalações de condicionamento de ar estão muito ruidosas, com a temperatura interna regulada para valores que resultam em PPI elevados e sem a possibilidade do usuário atuar sobre a instalação seja em termos da circulação de ar seja em termos de alterar a temperatura ambiente.

Estas duas últimas perguntas reforçam ainda mais a maior importância que deve ser dada aos aspectos relativos à qualidade do ambiente interno para garantir a satisfação do usuário, tendo os demais aspectos caráter secundário frente a estes, apesar desta situação não ter ficado tão explícita pelas respostas da pergunta 9.

Vale ressaltar que não foi apontado nenhum aspecto novo por partes dos usuários que possa ser inserido na sistemática proposta.

A fim de tentar identificar se alguma das respostas da pergunta 9 foi emitida em função de experiências do respondente com a instalação de ar condicionado ou com o edifício em que ele trabalha, foi construída a tabela a seguir, separando as respostas com base nestas duas variáveis. Estão assinalados os valores nos quais foram constatadas diferenças significativas entre as opiniões dos respondentes para cada quesito.

Pode-se verificar que a variável "tipo de prédio" afetou a resposta relativa ao quesito "Beleza e Aparência", sendo dada muita importância por ocupantes de casas, pequena importância para ocupantes de edifícios de até 8 pavimentos e nenhuma para os ocupantes de edifícios com mais de 8 pavimentos.

O tipo de instalação também afetou a resposta aos quesitos "ruído gerado", "facilidade de manutenção", "agressão ao meio ambiente", "problemas com o vizinho" e "espaço perdido". Os primeiros 4 quesitos citados neste parágrafo tiveram resposta significativamente diferente dos demais dada pelos ocupantes de edifícios onde há sistemas do tipo "split" instalados, que atribuíram importância "nenhuma" a estes aspectos, enquanto os usuários de outras instalações atribuíram "muita" importância ou "importância fundamental". Considerando as características dos equipamentos do tipo "split", esta resposta é esperada pois o compressor, que é uma fonte significativa de barulho está colocado do lado de fora do ambiente não gerando barulho nos recintos, podendo porém incomodar os vizinhos. Com relação ao aspecto "facilidade de manutenção" a resposta pode ser atribuída ao fato de que a o equipamento mecânico de maior complexidade (o compressor) se encontra fora do ambiente, podendo ser dada manutenção sem maiores incômodos aos usuários. Não foi possível vislumbrar uma boa justificativa para a baixa importância dada à agressão ao meio ambiente. Talvez isto possa ser explicado pelo fato de que estes equipamentos sejam relativamente novos no mercado brasileiro e já estejam usando gases com baixo PDO.

Ao aspecto "espaço perdido" foi atribuída, de forma significativa, "pouca importância" pelos usuários de equipamentos do tipo de janela, enquanto para

os usuários das demais instalações houve uma distribuição mais equânime entre os graus de importância, sem se poder destacar uma tendência. Este comportamento pode ser explicado pelas dimensões reduzidas dos equipamentos do tipo de janela.

Uma análise mais aprofundada, utilizando-se o teste estatístico do χ^2 de independência deveria ser aplicada para dar maior confiabilidade a estas análises. Porém, para várias células das tabelas, o número de ocorrências é pequeno tornando esta técnica sem validade estatística.

11.5. Fatores de ponderação.

Dos resultados extraídos da pergunta 9 é possível realizar uma nova determinação dos fatores de ponderação, fazendo uma média ponderada entre as porcentagens de respostas dadas a cada nível de importância, com um “peso” representando este nível de importância, por exemplo, importância “nenhuma” equivalente a peso 1, , importância “pouca” equivalente a peso 3 e assim sucessivamente. E, como já citado, estando as maiores frequências de ocorrência atribuídas às importâncias “muita” ou “fundamental” para todos os aspectos, conclui-se, mesmo sem cálculos que todos os fatores de ponderação serão da mesma ordem de grandeza.

Porém, os resultados das perguntas 10 e 11 não repetem esta condição. Nestas respostas abertas, verificou-se que a grande importância é dada pelos usuários aos aspectos de conforto ambiental (conforto térmico, nível de ruído interno) e aos aspectos de projeto que os afetam diretamente, como a possibilidade de controle da temperatura e da circulação.

Isto indica a necessidade de se aprofundar os estudos visando a obtenção de resultados mais confiáveis.

Tabela 25: Detalhamento das respostas atribuídas à pergunta 9, segundo o tipo de edifício e de instalação de ar condicionado existente.

Beleza e Aparência								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	10,0%	21,4%	37,1%	33,3%	33,3%	30,0%	25,0%	22,2%
Pouco	30,0%	30,0%	31,4%	33,3%	45,8%	30,0%	25,0%	27,8%
Muita	50,0%	28,6%	28,6%	33,3%	20,8%	40,0%	50,0%	44,4%
Fundamental	0,0%	0,0%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%

Controle de temperatura								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	0,0%	5,7%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%
Pouco	0,0%	7,1%	8,6%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	5,6%
Muita	30,0%	28,6%	20,0%	0,0%	20,8%	40,0%	25,0%	22,2%
Fundamental	70,0%	64,3%	65,7%	66,7%	66,7%	60,0%	75,0%	66,7%

Controle de circulação de ar								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	7,1%	8,6%	33,3%	8,3%	0,0%	0,0%	5,6%
Pouco	10,0%	0,0%	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%
Muita	30,0%	28,6%	25,7%	0,0%	37,5%	50,0%	0,0%	11,1%
Fundamental	60,0%	64,3%	62,9%	66,7%	54,2%	50,0%	100,0%	72,2%

Preço de compra e instalação								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	10,0%	7,1%	14,3%	33,3%	4,2%	0,0%	25,0%	22,2%
Pouco	10,0%	7,1%	11,4%	0,0%	12,5%	20,0%	0,0%	5,6%
Muita	60,0%	50,0%	54,3%	33,3%	58,3%	50,0%	75,0%	50,0%
Fundamental	20,0%	35,7%	20,0%	33,3%	25,0%	30,0%	0,0%	22,2%

Ruído gerado								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	7,1%	8,6%	66,7%	4,2%	0,0%	0,0%	5,6%
Pouco	20,0%	0,0%	2,9%	0,0%	4,2%	10,0%	0,0%	5,6%
Muita	50,0%	14,3%	22,9%	0,0%	20,8%	40,0%	75,0%	16,7%
Fundamental	30,0%	78,6%	65,7%	33,3%	70,8%	50,0%	25,0%	72,2%

Continuação da Tabela 25

Gasto com energia								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	7,1%	11,4%	33,3%	4,2%	0,0%	25,0%	11,1%
Pouco	10,0%	21,4%	20,0%	33,3%	29,2%	10,0%	25,0%	5,6%
Muita	70,0%	28,6%	25,7%	33,3%	20,8%	60,0%	25,0%	38,9%
Fundamental	20,0%	42,9%	42,9%	0,0%	45,8%	30,0%	25,0%	44,4%

Ventilar o ambiente								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	14,3%	11,4%	33,3%	4,2%	0,0%	0,0%	22,2%
Pouco	30,0%	0,0%	8,6%	0,0%	12,5%	30,0%	0,0%	0,0%
Muita	40,0%	28,6%	42,9%	0,0%	50,0%	20,0%	25,0%	44,4%
Fundamental	30,0%	57,1%	37,1%	66,7%	33,3%	50,0%	75,0%	33,3%

Facilidade de manutenção								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	7,1%	8,6%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	5,6%
Pouco	10,0%	7,1%	2,9%	0,0%	8,3%	0,0%	0,0%	5,6%
Muita	50,0%	50,0%	48,6%	0,0%	50,0%	50,0%	25,0%	61,1%
Fundamental	40,0%	35,7%	40,0%	33,3%	41,7%	50,0%	50,0%	27,8%

Espaço perdido								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	10,0%	7,1%	20,0%	33,3%	12,5%	10,0%	25,0%	16,7%
Pouco	50,0%	28,6%	22,9%	33,3%	20,8%	70,0%	0,0%	22,2%
Muita	40,0%	57,1%	34,3%	33,3%	45,8%	20,0%	50,0%	44,4%
Fundamental	0,0%	7,1%	22,9%	0,0%	20,8%	0,0%	25,0%	16,7%

Agressão ao meio ambiente								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	7,1%	14,3%	0,0%	4,2%	0,0%	25,0%	11,1%
Pouco	30,0%	7,1%	5,7%	0,0%	4,2%	30,0%	0,0%	11,1%
Muita	40,0%	42,9%	22,9%	33,3%	45,8%	40,0%	0,0%	11,1%
Fundamental	30,0%	42,9%	57,1%	0,0%	45,8%	30,0%	75,0%	66,7%

Continuação da Tabela 25

Problemas com vizinhos								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	20,0%	14,3%	22,9%	66,7%	16,7%	10,0%	25,0%	22,2%
Pouco	20,0%	14,3%	20,0%	0,0%	20,8%	30,0%	25,0%	11,1%
Muita	50,0%	35,7%	34,3%	33,3%	33,3%	50,0%	0,0%	44,4%
Fundamental	10,0%	35,7%	22,9%	0,0%	29,2%	10,0%	50,0%	22,2%

Qualidade do ar interno								
Importância	Tipo de prédio			Tipo de instalação				
	Casa	Edif.<=8	Edif.>8	Split	Central	Janela	não sei	não possui
Nenhuma	0,0%	7,1%	2,9%	33,3%	4,2%	0,0%	0,0%	0,0%
Pouco	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%
Muita	40,0%	7,1%	14,3%	0,0%	8,3%	30,0%	25,0%	22,2%
Fundamental	50,0%	85,7%	82,9%	66,7%	87,5%	70,0%	75,0%	72,2%

12. Exemplo de aplicação

A sistemática proposta é abrangente, mesclando vários aspectos técnicos em um índice único, dificultando a realização de uma aplicação completa a um edifício/instalação sem o aporte significativo de recursos laboratoriais e humanos. Devem ser medidos, pelo menos, 8 variáveis independentes, e realizadas simulações de consumo energético de várias alternativas de sistemas de ar condicionado. Estas atividades extrapolam o exequível a um único pesquisador sendo esta sistemática mais adequada a grupos de trabalhos em, por exemplo, institutos de pesquisa, universidades, grupos de prestação de serviço especializados e órgãos de fiscalização. Será apresentado aqui, contudo, um exemplo resumido da aplicação desta sistemática feita em uma instalação de pequeno porte, o Laboratório de Acústica do IPT, cuja planta é apresentada a seguir.

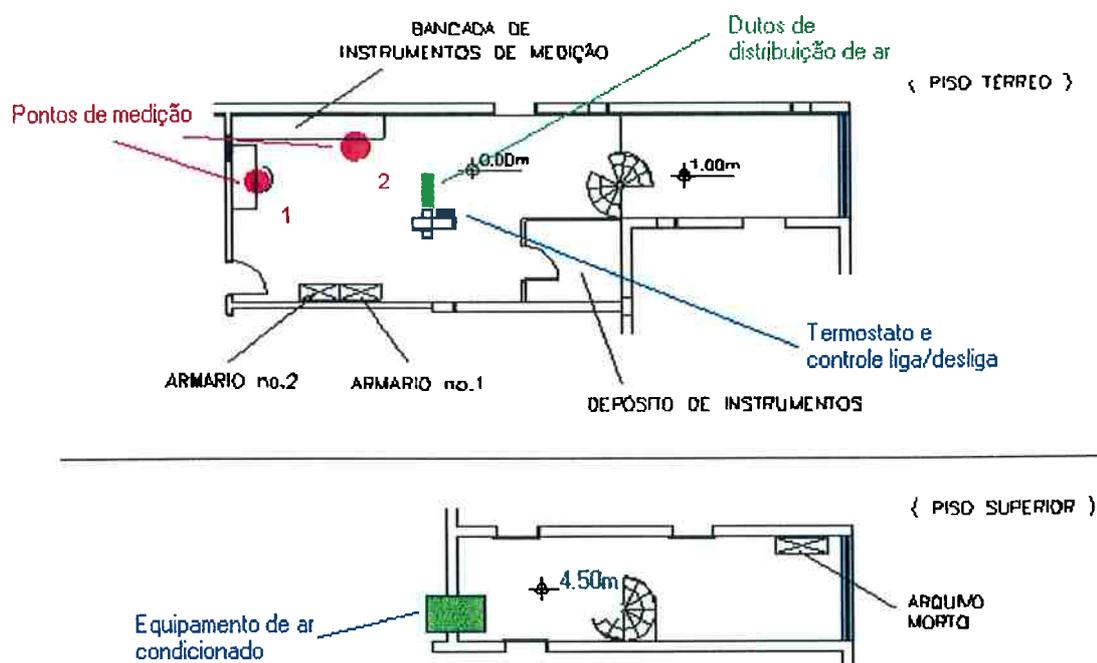


Figura 15: Planta do local onde foram realizadas as medições.

O equipamento utilizado é uma unidade compacta, do tipo de janela, porém com distribuição de ar feita por um duto. O aparelho está instalado no segundo andar do edifício, aproximadamente no seu centro, visto em planta, com a tomada de ar feita sobre o telhado. O equipamento teve seu termostato

original substituído por outro, instalado ao alcance dos usuários situado no andar térreo. As fotos a seguir mostram detalhes desta instalação.

Vale ressaltar que, no começo deste trabalho, foi dito que não seria feitas avaliações para instalações com unidades de condicionamento como esta caso elas estivessem servindo a escritórios particulares. Esta não é a situação neste exemplo, pois apesar de o equipamento ser do tipo “de janela” ele serve a até 4 pessoas simultaneamente.

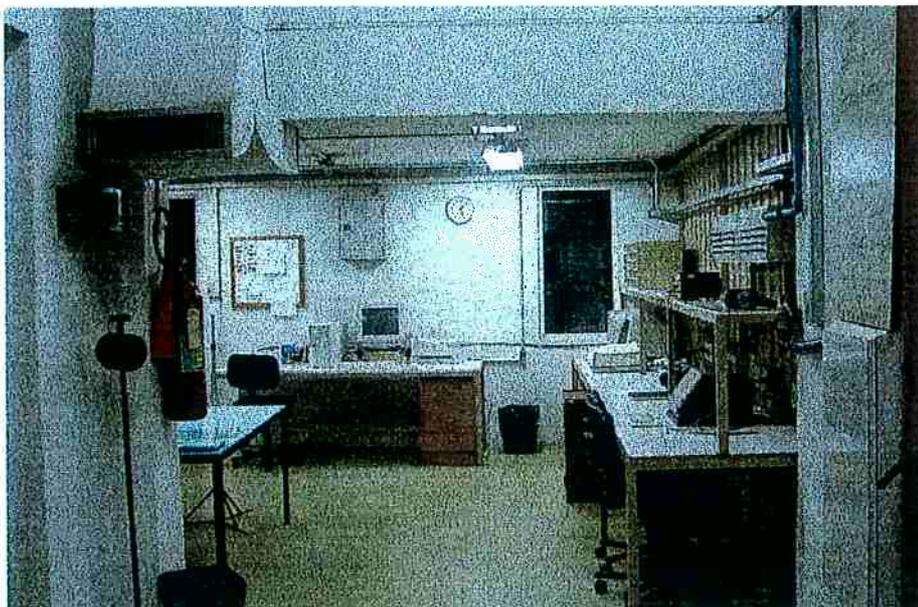


Foto 7: Interior do laboratório com destaque para as bocas de insuflação de ar.

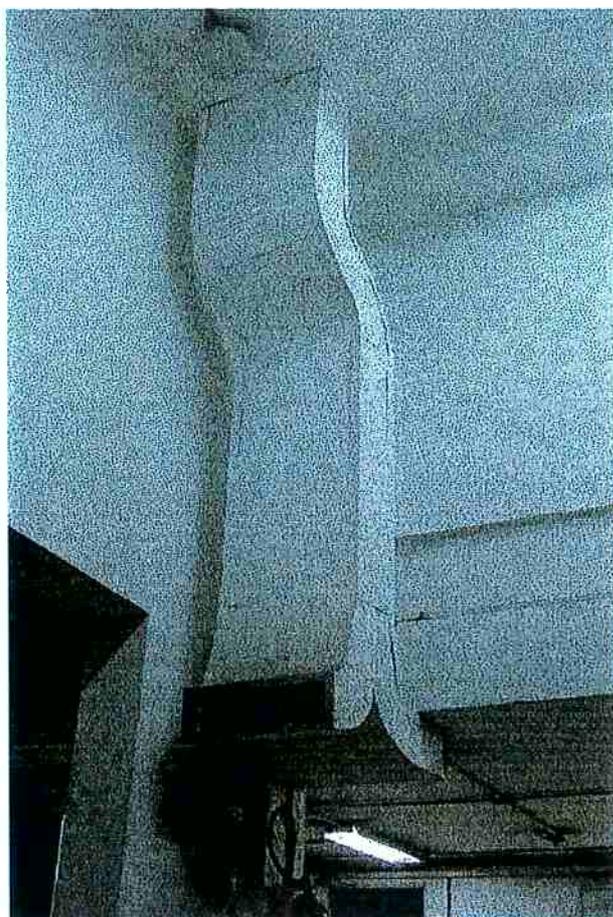


Foto 8: Final do duto de distribuição, vindo do equipamento ao ambiente.



Foto 9: Grelha de insuflação de ar, com aletas móveis.



Foto 10: Lateral do duto de insuflação, com vista do termostato e controles de liga/desliga do compressor e do ventilador.



Foto 11: Parte superior do duto, com o equipamento situado atrás deste. Neste local é feita a manutenção e a mistura do ar de retorno.

Além disto, foram feitas perguntas a dois usuários do referido Laboratório acerca da sua impressão sobre cada um dos aspectos envolvidos na sistemática.

12.1. Medições Realizadas

No ambiente condicionado foram medidas, durante aproximadamente 1h, no centro do ambiente, as seguintes variáveis,:

- Temperatura de bulbo seco do ar;
- Temperatura de bulbo úmido do ar;
- Temperatura radiante média.

Foram medidas ainda, durante um intervalo mais, curto, (de aproximadamente 5 minutos), nos dois principais postos de trabalho:

- O nível de ruído em dB (A);
- A velocidade do ar.

Externamente ao edifício foi medido o nível de ruído com e sem o equipamento funcionando.

12.2. Conforto térmico

Os resultados obtidos foram:

- Temperatura de bulbo seco do ar: 19,7°C
- Temperatura de bulbo úmido: 15,0°C
- Temperatura radiante média: 20,3°C.
- Velocidade média do ar: 0,019 m/s

Com estes valores o valor da PPI, para roupas e atividades típicas de escritório é de 44%, que resultam em uma pontuação de -21 pontos

Para a o IVA, tem-se os seguintes valores para a velocidade do ar:

- Posição do Analisador – ponto 1
 - ❖ Média = 0,025 m/s

❖ Desvio Padrão = 0,020 m/s

- Posição próxima à porta – ponto 2

❖ Média = 0,013 m/s

❖ Desvio Padrão = 0,005 m/s

Como o valor da velocidade do ar é muito baixa, menor que 0,05 m/s o IVA é de praticamente 100%, dando uma pontuação de +10 créditos.

12.3. Qualidade do ar

Como não se dispunha de equipamentos para medir a concentração de CO₂, mediu-se o perfil de velocidades do ar insuflado pelas grelhas, nos pontos indicados na figura e calculou-se a vazão de ar externo. Os valores medidos (em m/s) estão indicados diretamente no esquema da grelha abaixo apresentado.

Cota (cm)	X=10	X=20	X=30	X=40	X=50
Y=4	4,2 m/s	3,9 m/s	3,2 m/s	4,1 m/s	4,0 m/s
Y=8	3,7 m/s	4,5 m/s	1,3 m/s	4,2 m/s	4,1 m/s
Y=12	2,3 m/s	2,5 m/s	0,03 m/s	2,3 m/s	3,0 m/s

Figura 16: Valores medidos da velocidade do ar (m/s), no centro das regiões delimitadas pelas cotas X e Y.

Com esse valor, admitindo uma taxa de emissão de CO₂ de 0,3 l/min/pessoa (BEYER, 2000), devido apenas à respiração de duas pessoas (ocupação típica e não há outras fontes no interior do ambiente) e fazendo um balanço de massa no interior do recinto para uma concentração externa de 350 ppm, determina-se

$$\text{Vazão de ar insuflado} = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

Concentração interna de $\text{CO}_2 = 351$ ppm. A taxa de renovação de ar é muito intensa, fazendo com que concentração interna, seja praticamente igual à externa. Desta forma, a instalação recebe a pontuação máxima, ou seja +6.

Com relação à presença de contaminantes biológicos e de poeira em suspensão, não foi possível realizar-se estas determinações por falta de equipamentos. Contudo, para se ter um idéia do potencial de emissão de poeiras em suspensão, procedeu-se à lavagem do filtro de ar, e coletou-se a água em um béquer para realizar uma análise visual. O processo está documentado nas fotos abaixo.

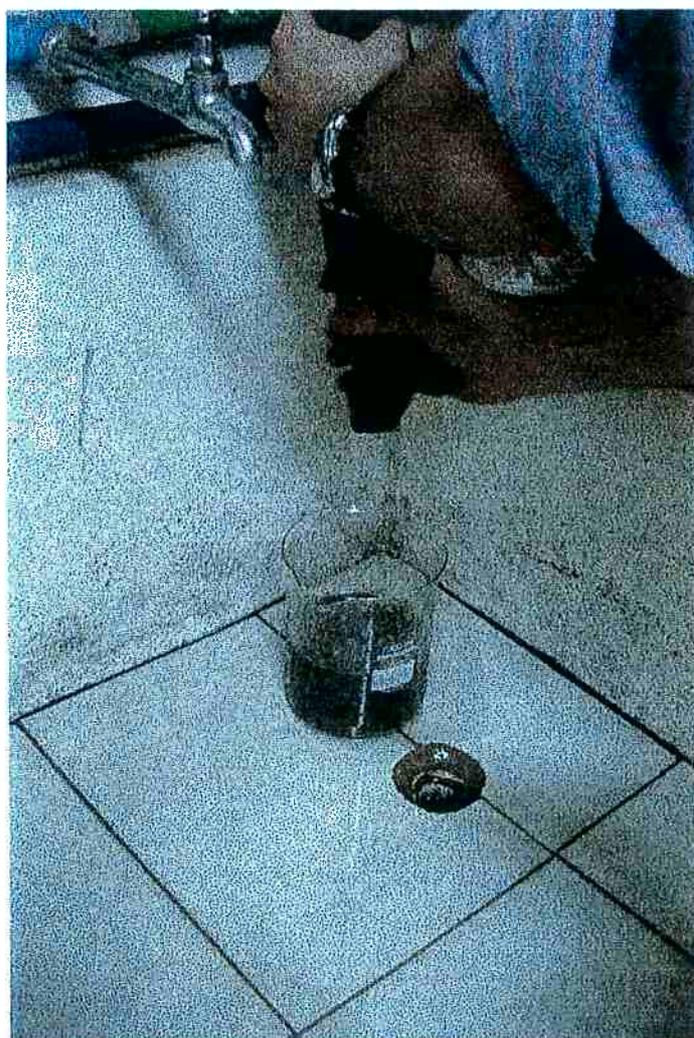


Foto 12: Lavagem do filtro de ar.



Foto 13: Parte da água coletada durante a lavagem.

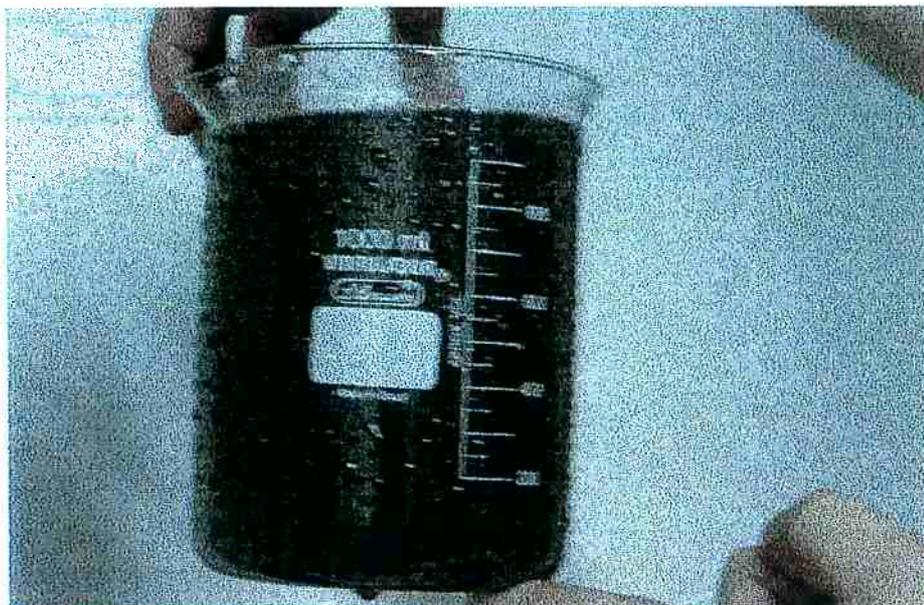


Foto 14: Parte da água coletada durante a lavagem.

Como pode ser observado, a quantidade de sujeira era bem grande. Posteriormente, fui informado que o filtro não era limpo a pelo menos 3 anos.

12.4. Ruído interno

Com relação aos níveis de ruído interno, foram obtidos os seguintes resultados:

Posição	Com o equipamento desligado	Com o equipamento ligado
1	41 dB (A)	57 dB (A)
2	42 dB (A)	55 dB (A)

Estes resultados mostram que, quando o equipamento é acionado, praticamente só se ouve o ruído por ele produzido, suplantando em muito o ruído de fundo.

Como o limite máximo para laboratório é de 50 dB(A), verifica-se que o ruído interno excede em +5 e +7 dB(A) este limite. Desta forma, tomando-se o valor médio, para efeito de análise, tem-se uma perda de 2 pontos pela instalação.

12.5. Consumo de energia

Acerca do consumo energético, não foram realizadas simulações, por se tratar de uma instalação simples, onde o seu desempenho energético é dado somente pelo consumo do compressor e dos ventiladores existentes no gabinete, e este consumo função da carga térmica e do COP da unidade como um todo. Desta forma, buscou-se informações que pudessem indicar qual seria este COP para compará-lo com os valores exigidos pela norma ASHRAE 90.

Da placa de especificações que está rebitada no corpo do equipamento obteve-se as seguintes informações

- Capacidade de resfriamento: 9000kcal/h = 10460 W (aproximadamente 36000 BTU/h ou 3 TR);
- Corrente elétrica: 15A;

- Tensão: 220V.

Com estes valores pode-se fazer uma estimativa de COP de:

$$COP = \frac{10460W}{15A \cdot 220V} = \frac{10460W}{3300W} = 3,17$$

Tomando-se o COP mínimo exigido pela norma ASHRAE para instalações unitárias como 3, tem-se relações de desempenho de 3,17/3.

12.6. Impacto Ambiental

Sobre o impacto ambiental, verificou-se que:

- O refrigerante utilizado é o R22. Trata-se de um equipamento instalado a aproximadamente 20 anos, antes das preocupações ambientais atuais.
- Com relação ao nível de ruído por ele produzido externamente pelo equipamento de condicionamento de ar, não foi medido nenhum acréscimo no ruído de fundo existente antes que ele entrasse em funcionamento. Os valores medidos em 8 pontos ao redor do prédio, tanto com ele em operação, como com ele desligado variaram entre 53 dB(A) e 61 dB(A).

12.7. Projeto e Manutenção

Acerca do projeto e manutenção da instalação, constata-se que:

A capacidade de refrigeração instalada está abaixo da potência mínima especificada pela Vigilância sanitária para que seja obrigatória a presença de um responsável técnico pela manutenção e a existência de um plano de manutenção. Contudo, como já citado, não é feita nenhuma manutenção a pelo menos três anos.

Os demais aspectos serão avaliados aplicando-se as tabelas as seguir.

Tabela 26: Aspectos de manutenção preventiva complementar.

Aspecto	Constatação	Créditos Obtidos
Verificação do funcionamento dos termostatos e umidostatos e a resposta do sistema	Nunca foi verificado	+0
Verificação do estado do isolamento térmico de dutos e tubulações de água gelada e da sua estanqueidade	Nunca foi verificado	+0
Verifique se o termostato não está sujeito a fontes específicas de calor	O termostato foi instalado e nunca houve alteração que causasse este efeito	+1
Em instalações com monitoramento informatizado intensivo, verificar se todos os outros sensores que não da temperatura ambiente estão tendo seus sinais enviados e tratados corretamente	Não aplicável	--x--

Tabela 27: Relação de créditos atribuídos a aspectos de projeto.

Aspecto	Constatação	Créditos
Tomada de ar externo em local que não comprometa a qualidade do ar interno (longe de fontes de contaminantes)	A tomada de ar é feita sobre o telhado, no meio do edifício, longe da rua e de qualquer outra fonte de contaminantes	+1
Termostatos e Umidostatos em todas as zonas que permitam o controle das condições pelos usuários	Há um único termostato ao alcance do usuário que pode ajustar a temperatura segundo sua necessidade	+2
Dispositivos que permitam ao usuário controlar a circulação de ar sobre o seu corpo	As grelhas possuem aletas móveis que permitem o controle do fluxo de ar	+2
Espaços onde estão as caixas de mistura com pelo menos +1m de largura e +1m de comprimento a fim de permitir o trabalho confortável de equipes de manutenção	O retorno é feito no andar superior funcionando como um grande "plenun", com espaço mais que suficiente para manutenção	+1
Uso de vários circuitos paralelos para distribuição de ar, reduzindo a altura total dos dutos	Não aplicável. Dutos verticais.	+1
Sobra de potência no sistema para acomodar redistribuições de pontos de insuflação e "dampers" para permitir o seu controle	Equipamento superdimensionado, segundo o responsável pela compra, justamente para atender a outras zona	+1
Integração com outras instalações e estruturas não tendo interferências entre instalações	Boa integração, usando espaços "mortos" para a distribuição de ar, sem conflitar com instalações elétricas/hidráulicas/de ar comprimido	+1
Não utilização de dutos horizontais para a distribuição de ar	São utilizados dutos verticais	+1

12.8. Avaliação Global

Os resultados obtidos estão transcritos na tabela abaixo.

Tabela 28: Pontuação técnica obtida com a aplicação da sistemática.

Parâmetro	Valor do Parâmetro	Unidade	Fator de Ponderação	Pontos Obtidos	Pontuação Máxima
Condições Ambientais					
Conforto térmico					
Taxa metabólica	70	W/m ²			
Resistência térmica da vestimenta	0,5	CLO			
Temperatura do ar	19,7	°C			
Umidade relativa do ar	60	%			
Velocidade do ar	0,019	m/s			
Temperatura radiante média	20,3	°C			
PPI com o ambiente todo	44	%	0,277	-21	+10
Intensidade de turbulência	40	%			
IVA devido à circulação de ar	5	%	0,262	+10	+10
Qualidade do ar					
Concentração de CO ₂	351	ppm	0,156	+6	+6 Atendimento Obrigatório
Partículas em suspensão	Não verificado	mg/m ³	-x-	Não verificado	Atendimento Obrigatório
Contaminação biológica	Não verificado	Ufc/m ³	-x-	Não verificado	Atendimento Obrigatório
Acréscimo no Nível de Ruído	+6	dB (A)	0,103	-2	+1
Desempenho Energético					
Relação entre os consumos energéticos (instalação em avaliação / instalação de referência)	3,00/3,17	Adimensional	0,024	+2	+10
Impacto Ambiental					
Gás Refrigerante	0,05	PDO	0,014	+1	+3
Aumento no Nível de Ruído externo	0	dB (A)	0,050	+1	+1
Partículas Totais		g/(10 ⁶ kcal)			
Densidade colorimétrica	Não se aplica	1 a 8	-x-	Não se aplica	Atendimento Obrigatório
SO ₂		kg/(10 ⁶ kcal)			
Projeto e Programa de Manutenção					
Atendimento às exigências da portaria ministerial	Não se aplica	Sim ou Não	-x-	-x-	Atendimento Obrigatório
Exigências complementares de manutenção	Ver tabela acima	Sim ou Não	0,073	+1	+4
Adequação do projeto	Ver tabela acima	Sim ou Não	0,041	+10	+10
Custo durante o ciclo de vida					
Comparação do custo com o de uma instalação padrão	Não verificado	Adimensional	-x-	Não verificado	Facultativo
Pontuação Total Ponderada:				-1,872	

Estes resultados indicam que:

- O desempenho da instalação como um todo está aquém do de uma boa instalação padrão, já que a sua pontuação total foi negativa. Isto se deve ao fato de que as condições internas de conforto térmico estão totalmente desfavoráveis já que a PPI está elevada, apesar do IVA ser baixo. Contudo, como esta característica negativa pode ser compensada pela simples atuação do usuário sobre o termostato, que está operacional, constata-se que estes usuários não tem a prática de ajustarem a temperatura interna, ou que não há consenso entre os usuário sobre qual a condição de conforto ótima para o grupo;
- O nível de ruído interno é outro ponto negativo na instalação, devendo ser tratado;
- O desempenho energético da instalação é favorável porém poderia ser melhorado;
- O refrigerante utilizado não ataca significativamente a camada de ozônio;
- A manutenção preventiva deve ser realizada periodicamente. Contudo este enfoque de atender à portaria, que exige a manutenção apenas em instalações de um certo porte, não está bem adequado, impondo a necessidade de se realizar a manutenção a qualquer porte de instalação e atribuindo deméritos caso a mesma não seja realizada.
- o projeto da instalação permite ao usuário realizar um bom controle das condições internas, atuando sobre o termostato e sobre a direção de circulação do fluxo de ar.

12.8.1. Aprimoramentos na instalação

As pontuações técnicas baixas, ou negativas como o nosso caso, indicam os pontos da instalação que devem ser aprimorados, sendo que quanto mais negativo o resultado, maior deve ser a atenção dada.

Com este enfoque, deve ser dada especial atenção às condições ambientais internas, especialmente com relação à temperatura do ar e ao nível de ruído.

Para corrigir a temperatura interna basta que os usuários atuem sobre o termostato que está instalado no próprio ambiente de trabalho, indicando que não se trata de um problema com a instalação, mas muito mais de conscientização.

O nível de ruído pode ser diminuído empregando-se algum material ou dispositivo abafador de ruído na descarga do ventilador ou fazendo alterações nas grelhas.

12.9. Entrevista com usuários

É apresentada a seguir uma tabela contendo as respostas qualitativas dadas por dois usuários do laboratório acerca dos aspectos contemplados nesta avaliação a fim de verificar a sua percepção aos elementos desta escala.

Tabela 29: Resultados das entrevistas com os usuários.

Aspecto	Usuário 1	Usuário 2
Sensação de conforto	Boa quando posso regular a temperatura	Boa quando posso regular a temperatura
Qualidade do ar	Boa, nunca teve nenhum sintoma desagradável	Boa, apesar de, esporadicamente sentir o ar seco
Ruído interno	Alto	Não perturba
Consumo de energia	Teve esta preocupação quando o equipamento foi comprado há mais de 20 anos	Nunca se preocupou
Agressividade do refrigerante ao meio ambiente	Só teve preocupação "acadêmica" como o assunto, sem pensar em alguma atitude prática.	Como o CFC pode destruir a camada de O3, este usuário prefere ficar sem conforto a agredir a natureza
Ruído externo	Não causa transtornos devido ao enclausuramento provocado pelo local onde o equipamento está instalado.	Não causa transtornos devido ao enclausuramento provocado pelo local onde o equipamento está instalado.
Manutenção preventiva	Solicitou uma manutenção há mais de 3 anos	Nunca se preocupou com o assunto
Posição da tomada de ar	Boa por não trazer poluentes para dentro do edifício	Boa por não trazer poluentes para dentro do edifício
Possibilidade de controle de temperatura	Fundamental	Fundamental

Possibilidade de controlar a direção do fluxo de ar.	Utiliza para garantir o seu conforto	Nunca usou. Deixa que outros regulem o fluxo de ar
Espaço adequado para manutenção	Importante e adequado	Não é tão importante
Espaço perdido pela instalação	Nunca foi um problema	Nunca foi um problema
Sobra de potência para atender outras salas	Foi feito intencionalmente para atender a outras sala	Considera positiva esta sobra de potência
Possibilidade de interferência com outras instalações	Nunca houve	Nunca houve, nem gera ruídos elétricos

As respostas apresentadas pelos usuários coincidem em boa parte com os aspectos verificados na avaliação técnica, principalmente com relação à necessidade de se controlar a temperatura interna via atuação sobre o termostato, que contudo parece não estar sendo realizada.

Com relação ao nível do ruído interno, um dos usuários reclamou do nível interno, coincidindo com a avaliação técnica.

Os aspectos de consumo de energia e de risco ao meio ambiente foram considerados de importância secundária pelos usuários.

Os aspectos positivos de projeto ressaltados pelos usuários, também coincidiram com a avaliação técnica, bem como a questão de falta de manutenção.

12.10. Avaliação da aplicação da sistemática.

De maneira geral não foram verificadas incoerências na aplicação da metodologia entre a resposta dos usuários e a aplicação da sistemática, a menos da questão da manutenção preventiva, que foi citada por um dos usuários e não contemplado na sistemática para instalações deste porte.

A atribuição dos créditos e deméritos expôs os pontos fortes e fracos da instalação indicando os pontos a serem melhorados.

Os cuidados de projeto tomados na instalação causaram surpresa, pois, normalmente não são considerados em instalações deste porte.

13. Conclusões

Este trabalho produziu uma sistemática para avaliar o desempenho das instalações de condicionamento de ar, com o enfoque dado pelos usuários destas, integrando, em um único índice, os seus principais aspectos. A sistemática, apesar de reunir diversas características diferentes resulta em um indicador de fácil interpretação, cujos componentes também podem ser interpretados facilmente.

De maneira geral, ressaltam-se ,ainda, as seguintes características positivas:

- Criou-se uma nova forma de avaliar o produto “instalação de condicionamento de ar”, com caráter técnico e menor carga de subjetividade;
- A atribuição de notas técnicas aos diversos aspectos de desempenho é uma contribuição significativa para a realização de análises benefício / custo, pois, até agora, não havia uma forma de valorar as características de uma instalação de condicionamento de ar;
- Estabeleceu-se uma escala de desempenho global para toda a instalação de simples interpretação;
- Reuniu-se nesta escala os principais aspectos que os usuários entrevistados consideram importante em uma instalação e ainda aqueles que, apesar de não aparentes, são fundamentais para o seu bom funcionamento;
- A atribuição de créditos e deméritos permite indicar os pontos a serem melhorados em uma instalação de ar condicionado, principalmente quando ponderados pela sua importância. Esta informação é particularmente útil no momento de tomadas de decisão de reforma/atualização das instalações;
- A estrutura básica da sistemática é aberta permitindo a inserção de novos critérios de avaliação sem, necessariamente, excluir os demais.

Este trabalho não pretende encerrar a questão, mas sim ser o início de um processo que culmine com a elaboração de uma sistemática maior para a certificação da qualidade de sistemas e instalações de ar condicionado, inicialmente para edifícios comerciais e, posteriormente para qualquer ambiente climatizado, seja ele fixo ou móvel, como os veículos frigoríficos.

Vale ressaltar que os tópicos utilizados no critério retratam uma condição momentânea, podendo ser alterados segundo a experiência acumulada com a sua aplicação assim o determinem, bem como mudanças tecnológicas e/ou culturais.

Da mesma forma, os valores mínimos estabelecidos devem ser continuamente revisados, acompanhando tanto a evolução tecnológica como dos hábitos e costumes da sociedade, ou mesmo uma expansão do universo pesquisado.

Aliás, a expansão do universo pesquisado é altamente necessária principalmente pelo fato de que os resultados aqui apresentados com relação à opinião dos usuários não foram consistentes, além de serem fruto de uma amostra pequena de uma realidade tipicamente "paulistana".

Com relação à sistemática como um todo, os recursos técnicos necessários à sua operacionalização envolvem um montante significativo, seja em termos humanos como em termos de instrumental, indicando a complexidade da questão.

Especificamente, é necessário o desenvolvimento das seguintes ferramentas para uma melhor aplicação da sistemática como agora proposta:

- Bancos de dados com informações sobre vida útil de equipamentos, atividades de manutenção típicas, durabilidade de componentes para subsidiar as avaliações econômicas de instalações de ar condicionado, bem como os programas de manutenção obrigatórias especificadas nas portarias de vigilância sanitária;

- Dados climáticos anuais tratados em bases horárias, para permitir a realização das análises de desempenho energético com maior confiabilidade;
- Estabelecimento de limites para taxas de emissão de CO₂ e outros produtos de combustão em instalações de cogeração, a fim de se poder adotar escalas de avaliação de desempenho, inclusive da qualidade do combustível utilizado;
- Informações sobre curvas de performance dos equipamentos de condicionamento como os chillers, principalmente em condições de carga parciais, também para permitir a realização das análises de desempenho energético com maior confiabilidade.

Além disto, é necessário o aprofundamento de estudos sobre o tema "edifícios doentes", questão que ainda está em pleno desenvolvimento em âmbito mundial, mas que precisam ser desenvolvidos para as condições brasileiras, tanto em termos de contaminantes típicos de origem construtiva como de natureza orgânica.

Outro aspecto ainda a ser desenvolvido são os próprios limites adotados para a expressão da sensação de conforto térmico, que, como já citado, são diferentes para pessoas que tem boa parte de sua vida em ambientes não condicionados em relação àquelas pessoas que tem o condicionamento ambiental presente tanto em seu local de trabalho como em sua residência.

ANEXO A

Eficiências energéticas mínimas exigidas pela Norma ASHRAE/IES 90/89

Valores apresentados para equipamentos
produzidos antes e após 01/0192

Condições Padronizadas de Ponderação, Desempenho Mínimo de Ar-condicionado Unitário e Bombas de Calor – Ar-refrigerado. Operados Eletricamente – Capacidade de Resfriamento Inferior a 135.000 Btu/h – Exceto equipamentos do tipo de janela e individuais.

Categoria	Sub-categoria & Condições da Ponderação (Temp. externa °C)		Desemp. Mínimo	01/01/1992	
<65.000 Btu/h. Capac. de resfriamento Modo de resfriamento	1 fase	Ponderações Sazonais			
		Sistema Split	8,9 SEER	10,0 SEER	
<65.000 Btu/h. Capac. de resfriamento Modo de resfriamento	3 fases	Ponderação Padrão (35,0 °C db) Systema Split & Unitário		8,4 EER	9,5 EER
		IPLV (26,7 °C db) Systema Split & Unitário		7,4 IPLV	8,5 IPLV
≥65.000 <135.000 Btu/h. Modo de resfriamento	Todos	Ponderação Padrão (35,0 °C db)		8,3 EER	8,9 EER
		IPLV (26,7 °C db)		7,3 IPLV	8,3 IPLV
<65.000 Btu/h. Capac. de resfriamento Modo de aquecimento	1 fase	Ponderações Sazonais			
		Sistema Split	6,4 HSPF	6,8 HSPF	
<65.000 Btu/h. Capac. de de resfriamento Modo de aquecimento	3 fases	Ponderação Padrão (35,0 °C db) Systema Split & Unitário		2,8 COP	3,0 COP
		IPLV (26,7 °C db) Systema Split & Unitário		1,9 COP	2,0 COP
≥65.000 <135.000 Btu/h. Capac. de resfriamento Modo de aquecimento	Todos	Ponderação Padrão (35,0 °C db)		2,8 COP	3,0 COP
		IPLV (26,7 °C db)		1,9 COP	2,0 COP

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado Unitário e Bombas de Calor – Resfriado por evaporação – Operado Eletricamente – Modo de Resfriamento, Capacidade de Resfriamento <135.000 Btu/h – Exceto Ar-Condicionado de janela e individual

Categoria	Condições da Ponderação		Desemp. Mínimo	01.01.1992
	Temperatura Interna	Temperatura Externa		
<65.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação Padrão		9,0 EER	9,3 EER
	26,7°C db / 19,4°C wb	35,0°C db / 23,9°C wb		
<65.000 Btu/h	Rendimento integrado em carga parcial- IPLV (26,7 °C db/ 19, °C wb)		8,0 IPLV	8,5 IPLV
>65.000 <135.000 Btu/h	Ponderação Padrão		9,5 EER	10,5 EER
	26,7°C db / 19,4°C wb	35,0°C db / 23,9°C wb		
>65.000 <135.000 Btu/h	Rendimento integrado em carga parcial (26,7 °C db/19,4°C wb)		8,5 IPLV	9,7 IPLV

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado Resfriado a Água e Bombas de Calor – Modo de Resfriamento, Capacidade de Resfriamento <135.000 Btu/h – Acionado eletricamente.

Categoria	Condições da Ponderação		Desemp. Mínimo	01.01.1992
	Temperatura Interna	Temperatura Externa		
<65.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação Padrão		9,0 EER	9,3 EER
	26,7°C db / 19,4°C wb	29,4°C		
≥65.000 <135.000Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação a Baixa Temperatura		9,7 EER	10,2 EER
	26,7°C db / 19,4°C wb	23,9°C		
<135.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação Padrão		10,0 EER	11,0 EER
	21,1°C			
<135.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação a Baixa Temperatura		10,5 EER	11,5 EER
	10,0°C			
<65.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação Padrão		9,0 EER	9,3 EER
	26,7°C db / 19,4°C wb	29,4°C		
≥65.000 <135.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Rendimento integrado em carga parcial		8,0 IPLV	8,3 IPLV
	23,9°C			
≥65.000 <135.000 Btu/h Capac. de resfriamento	Ponderação Padrão		9,5 EER	10,5 EER
	26,7°C db / 19,4°C wb	29,4°C		

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado de Janela e Água e Bombas de Calor – Refrigerado a Ar - Acionado eletricamente.

Categoria	Sub-categoria & Condições da Ponderação (Temp. Externa)	Desempenho Mínimo	01.01.1992
Modo de resfriamento	Ponderação Padrão (35,0 °C db)	10,0 – (0,19 x Cap. (Btu/h)/1000) EER	10,0 – (0,16 x Cap. (Btu/h)/1000) EER
	Ponderação a Baixa Temperatura (27,8°C db)	12,0 – (0,23 x Cap. (Btu/h)/1000)EER	12,2 – (0,20 x Cap. (Btu/h) /1000)EER
Modo de aquecimento COP	Ponderação Padrão (8,3°C db/ 6,1°C wb)	1,3 – 0,16 (EER acima)	

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado Individual e Bombas de Calor

Categoria	Desempenho Mínimo Início em 01.01.1992	
Sem Ciclo de Reversão e Com Laterais Rebaixadas	< 6.000 Btu/h	8,0 EER
	≥ 6.000, < 8.000 Btu/h	8,5 EER
	≥ 8.000, < 14.000 Btu/h	9,0 EER
	≥ 14.000, < 20.000 Btu/h	8,8 EER
	> 20.000 Btu/h	8,2 EER
Sem Ciclo de Reversão e Sem Laterais Rebaixadas	< 6.000 Btu/h	8,0 EER
	≥ 6.000, < 20.000 Btu/h	8,5 EER
	> 20.000 Btu/h	8,2 EER
Com Ciclo de Reversão e Com Laterais Rebaixadas	8,5 EER	
Com Ciclo de Reversão e Sem Laterais Rebaixadas	8,0 EER	

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Bombas de Calor a base de água – Modo de Resfriamento, Capacidade de Resfriamento <135.000 Btu/h – Acionado eletricamente.

Condições da Ponderação	Desempenho Mínimo	01.01.1992
Ponderação padrão Água de entrada a 21,1°C	3,3 COP	3,8 COP
1. Ponderação a Alta Temperatura Água de entrada a 21,1°C	3,2 COP	3,4 COP
2. Ponderação a Baixa Temperatura Água de entrada a 10,0°C	2,8 COP	3,0 COP

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Grandes Unidades de Ar-Condicionado Resfriado a Água e Bombas de Calor – Modo de Resfriamento, Capacidade de Resfriamento >135.000 Btu/h – Acionado eletricamente.

Categoria / Normas de Referência	Índice de Eficiência	Desempenho Mínimo		01.01.1992	
		<760.000 Btu/h 8,2	>760.000 Btu/h 8,0	<760.000 Btu/h 8,5	>760.000 Btu/h 8,2
Ar-condicionado Refrigerado a ar ARI 360-86	EER				
	IPLV	7,2		7,5	
Ar-condicionado Refrig. a Água/Evap. ARI 360-86 CTI 201-86	EER	9,4		9,6	
	IPLV	8,5		9,0	
Bombas de Calor Refrig. a Ar - Resfriamento Refrig. a Ar - Aquecimento ARI 340-86	EER	<760.000 Btu/h 8,2	≥760.000 Btu/h 8,0	<760.000 Btu/h 8,5	≥760.000 Btu/h 8,2
	IPLV	7,2		7,5	
	COP (8,3°C)	2,8		2,9	
	COP (-8,3°C)	1,85		2,0	
Unidades de Condensação – Refrig. a ar ARI 365-87	EER	9,7		9,9	
	IPLV	10,5		11,0	
Unidades de Condensação – Refrig. a Água/Evap. ARI 365-87 CTI 201-86	EER	12,7		12,9	
	IPLV	12,7		12,9	

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de "Water chilling packages" – Resfriado a Ar e Água – Acionado eletricamente.

Categoria	Ponderação de Eficiência	Desempenho Mínimo	01.01.1992
Refrigerado a água			
≥ 300 Ton	COP	4,6	5,2
	IPLV	4,7	5,3
≥150 Ton <300 Ton	COP	3,7	4,2
	IPLV	3,8	4,5
< 150 Ton	COP	3,7	3,8
	IPLV	3,8	3,9
Refrigerado a ar com condensador			
≥ 150 Ton	COP	2,4	2,5
	IPLV	2,4	2,5
< 150 Ton	COP	2,6	2,7
	IPLV	2,6	2,8
Refrigerado a ar sem Condensador			
Todas as Capacidades	COP	3,0	3,1
	IPLV	3,0	3,2

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Boilers: Combustão de Gás e Óleo.

Categoria	Condições da Ponderação	Desempenho Mínimo	01.01.1992
Combustão a Gás < 300.000 Btu/h	Ponderação Sazonal	AFUE 68%	AFUE 80%
Combustão a Óleo < 300.000 Btu/h	Ponderação Sazonal	AFUE 78%	AFUE 80%
Combustão de Gás ≥ 300.000 Btu/h	Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 80%
	Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 72%	E 80%
Combustão de Óleo ≥ 300.000 Btu/h	Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 78%	E 83%
	Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 83%
Combustão de Óleo (Residual) ≥ 300.000 Btu/h	Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 78%	E 83%
	Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 83%

E: Eficiência Térmica= 100%-perda térmica devido aos gases queimados.

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Fornos para aquecimento de ar e Combinações de Fornos de Ar Quentes/Unidades de Ar-Condicionado

Categoria	Condições da Ponderação	Desempenho Mínimo	01.01.1992
Combustão de Gás < 225.000 Btu/h	Ponderação Sazonal	AFUE 68%	AFUE 78%
Combustão de Óleo < 225.000 Btu/h	Ponderação Sazonal	AFUE 76%	AFUE 78%
Combustão de Gás ≥ 225.000 Btu/h	Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 80%
	Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 72%	E 78%
Combustão de Óleo ≥ 225.000 Btu/h	Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 78%	E 81%
	Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 81%

E: Eficiência Térmica= 100%-perda térmica devido aos gases queimados.

Fornos para aquecimento de ar com saída dutada e Aquecedores Unitários

Categoria	Condições da Ponderação	Desempenho Mínimo	01.01.1992
Fornos de Duto Combustão de Gás	1. Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 78%
	2. Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 72%	E 75%
Aquecedores Unitários Combustão de Gás	1. Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 78%
	2. Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 72%	E 74%
Aquecedores Unitários Combustão a Óleo	1. Capacidade Máxima Ponderada Regime Permanente	E 78%	E 81%
	2. Capacidade Mínima Ponderada Regime Permanente	E 75%	E 81%

E: Eficiência Térmica= 100%- perda térmica devido aos gases queimados.

Legendas gerais:

Db: "dry bulb" - temperatura de bulbo seco

Wb "wet bulb" – temperatura de bulbo úmido

COP –coefficient of Performace – Relação entre calor retirado do ambiente e energia elétrica consumida, em condições específicas de operação (W/W)

AFUE: annual fuel utilization efficiency – Eficiência anual de utilização de combustíveis, dado pela energia térmica gerada/pela energia térmica consumida (W/W)

EER – energy efficiency ratio - Relação entre calor retirado do ambiente e energia elétrica consumida, em condições específicas de operação (BTU/hW)

SEER – seasonal energy efficiency ratio - Relação entre calor retirado do ambiente durante a estação de resfriamento e a energia elétrica total consumida no mesmo período (BTU/hW)

IPLV - Integrated Part Load Value - Rendimento integrado em carga parcial, (BTU/hW), ponderação dos COPs ou EERs, em várias condições de operação. Normalmente obtido em ensaios laboratoriais específicos

ANEXO B:

Custos da Energia Elétrica e
de Instalações de Condicionamento de Ar.

TARIFAS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA
 RESOLUÇÃO N° 193 da ANEEL de 09/06/99 (Anexo III) - D.O.U. de 06/08/99
 VÁLIDA PARA AS LEITURAS A PARTIR DE 07/08/99

TFE N° 03/9
 AGOSTO/99

GRUPO "A" - SUBGRUPO AS MÉDIA E ALTA TENSÃO (33 kV e 66 kV) PORT. 466 - ART. 63	SUBGRUPO AS		SUBGRUPO A1 (230 KV ou mais)		SUBGRUPO A2 (88 KV e 138 KV)		SUBGRUPO A3a (30 KV e 44 KV)		SUBGRUPO A4 (23 KV e 25 KV)	
	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh
SEGMENTO CONVENCIONAL	8,71	90,52					5,71	83,42	5,91	86,50
SEGMENTO HORO-SAZONAL TARIFA AZUL										
PONTA SECA	16,33	107,15	8,94	50,80	9,61	53,90	15,04	98,78	15,62	102,40
PONTA ÚMIDA	16,33	99,17	8,94	44,49	9,61	50,29	15,04	91,42	15,62	94,76
FORA DE PONTA SECA	7,99	50,96	1,87	35,98	2,23	38,63	5,04	46,06	5,21	48,69
FORA DE PONTA ÚMIDA	7,99	45,02	1,87	30,58	2,23	35,43	5,04	41,50	5,21	43,02
ULTRAPASSAGEM										
PONTA SECA / ÚMIDA	49,00		33,12		35,58		50,67		46,83	
FORA DE PONTA SECA / ÚMIDA	23,94		6,95		8,13		16,88		15,62	
TARIFA VERDE										
PONTA SECA	7,99	484,89					5,04	446,94	5,21	463,36
PONTA ÚMIDA	7,99	476,94					5,04	439,59	5,21	455,76
FORA DE PONTA SECA	7,99	50,96					5,04	46,96	5,21	48,69
FORA DE PONTA ÚMIDA	7,99	45,02					5,04	41,50	5,21	43,02
ULTRAPASSAGEM										
SECA / ÚMIDA	23,94						16,88		15,62	
SEGMENTO DE FORNECIMENTOS INTERRUPTÍVEIS										
ENERGIA TEMPORÁRIA PARA SUBSTITUIÇÃO - EST		15,38		13,14		13,14		15,74		15,38
TARIFA DE EMERGÊNCIA AUTOPRODUTOR	DEMANDA R\$ / KW ANO	CONSUMO R\$ / MWh	DESCONTOS - GRUPO "A" (Exceto nas Tarifas de Ultrapassagem)				DESCONTOS - GRUPO "A"			
A2	36,53	160,39	Rural - 10% Cooperativa de Eletificação Rural - 50% Água, Esgoto e Saneamento - 15%				Energia Elétrica de Sobre Temporária - EST Demanda - tarifa vigente do grupo A Consumo - desconto de 45% da tarifa vigente do grupo			
A3	37,43	225,44								
A3a CONVENCIONAL										
A3a HORO-SAZONAL AZUL	42,41	236,08	DESCONTOS ESPECIAIS - GRUPO "A"							
A3a HORO-SAZONAL VERDE	10,60	236,08	Rural Irrigação - 70% Cooperativa de Eletificação Rural Irrigada - 70% Portaria N° 105 de 03/04/92				Portaria N° 826 de 19/07/93			
A4 CONVENCIONAL										
A4 HORO-SAZONAL AZUL	39,21	218,29								
A4a HORO-SAZONAL VERDE	9,79	218,29								

GRUPO "B" - BAIXA TENSÃO (110 a 440 V)	RESIDENCIAL BAIXA RENDA				RESIDENCIAL ACIMA DE 220 KWh	SUBGRUPO B2 RURAL	SUBGRUPO B3 DEMAIS CLASSES	SUBGRUPO B4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA			
	Até 30 Kwh	De 31 a 100	De 101 a 200	De 201 a 220				B4a	B4b	B4c	
	R\$ / MWh	R\$ / MWh	R\$ / MWh	R\$ / MWh				R\$ / MWh	R\$ / MWh	R\$ / MWh	
	55,33	94,84	142,27	158,06	158,06	98,39	156,96	80,87	88,76	131,47	
FORNECIMENTO	VALORES MÍNIMOS MENSAIS										
	RESIDENCIAL BAIXA RENDA					SUBGRUPO B2	SUBGRUPO B3	B4a	B4b	B4c	
	R\$					R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	
	MONOFÁSICO - 30 KWh	1,65					2,95	4,71	2,43	2,66	3,84
BIFÁSICO - 50 KWh	3,55					4,92	7,85	4,04	4,44	6,57	
TRIFÁSICO - 100 KWh	8,29					9,84	15,70	8,09	8,88	13,15	
Descontos BT: Água, Esgoto e Saneamento (15% s/ Tarifa do Subgrupo B3 - R\$ 131,41 por MWh)					B2 Coop. de Elet. Rural - R\$ 69,51		B2 Serv. Públ. Irrig. - R\$ 90,46				
Descontos Especiais BT / Portaria 105 de 03/04/92: Rural Irrigação e Cooperativa de Eletificação Rural Irrigada - 60%											

TARIFA FISCAL	ICMS						
	CÁLCULO DO ICMS			ALÍQUOTA			
	$ICMS = F \cdot \left[\left(\frac{1}{1-X} \right) - 1 \right]$						
R\$ 64,48 / MWh Portaria n° 2 de 04/01/96 do DNAEE - D.O.U. de 05/01/96	Onde: F = Fornecimento			Residencial até 50 KWh - ISENTO			
	X = Alíquota referente a classe do cliente			Residencial de 51 a 200 KWh - 12%			
			Residencial acima de 200 KWh - 25%				
			RURAL (com n° da inscrição da Secretaria da Fazenda) - ISENTO				
			RURAL (som n° da inscrição da Secretaria da Fazenda) - 18% (*)				
			Tração Elétrica - 12%				
			Demais Classes - 10% (*)				
			(*) Válida de 01/01/90 até 21/12/99				
TAXAS DIVERSAS PORT. 466 - ART. 85	LIGAÇÃO	VISTORIA	RELIGAÇÃO	AFERIÇÃO DE MEDIDOR	2° VIA OU REAVISO DE VENCIMENTO	VERIFICAÇÃO DE NÍVEL DE TENSÃO	RELIGAÇÃO DE URGÊNCIA
GRUPO "B"							
(MONOFÁSICO R\$)	1,93	2,26	2,58	2,90	0,87	2,90	12,80
(BIFÁSICO R\$)	2,58	3,22	3,55	4,84	0,97	4,84	19,34
(TRIFÁSICO R\$)	5,16	6,45	10,64	16,45	0,97	6,80	32,24
GRUPO "A"	19,34	19,34	32,24	32,24	1,93	32,24	64,48

Nota - Fornecimento até 09/06/99 - Portaria n° 096

São Paulo, 10 Agosto de 1999.

Fornecimento até 07/07/99 - Resolução n° 193 - Anexo I
 Fornecimento até 06/08/99 - Resolução n° 193 - Anexo II

EMITENTE: S.A. VLSIMIR
 TEL: 3044-5387



SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTOR
 NATIONAL ASSOCIATION - CHAPTER BRASIL
 Av. Rio Branco, 1492
 São Paulo - SP - Brasil
 Fone (011) 271-5366 - CEP 01706
 Fax (011) 270-5481
 CGC 81.850.954/0001-811
 Insc. Estadual Isenta

Quadro I - Custo por TR - Instalação

Sistema TR Capacidade	CUSTO POR TR / US\$			
	Água Gelada	Self a Água	Self a Ar	Split
até 20 TR	3,663.80	2,361.26	2,045.52	1,981.87
20 a 50	3,110.95	2,320.86	2,012.73	1,861.32
50 a 100	2,943.06	2,232.62	1,931.27	1,798.63
100 a 300	2,902.89	2,343.52	2,034.91	1,842.03
acima de 300	2,950.18	2,374.87	2,055.65	1,822.74

Porcentagem de acréscimo (0%) ou decréscimo tendo em conta o custo por TR acima.

- fan-coil individual = +15%
- distribuição com troffers = +3%
- termoacumulação com gelo = +12%
- termoacumulação com água +15%
- self a ar - condensador remoto +7%
- água gelada com condensação a ar +5%
- utilização do sistema VAV = +10%
- utilização do sistema de ciclo economizador = +12%

Quadro II - Composição Média do Custo por TR (OZ)

Composição Sistema Equipamentos	Z		
	ÁGUA GELADA	SELF A ÁGUA	SELF A AR
RESFRIADORES	30	-	-
TORRES	6,5	9	-
BOMBAS	4,5	7,5	-
HIDRÁULICA	17	12	-
CONDICIONADORES	20	45	62,5
DUTOS E BOCAS	12	16,5	26,5
Q. ELÉTRICOS	4,5	6	7,5
CONTROLES CONVENCIONAIS	5,5	4	3,5
TOTAL	100,0	100,0	100,0

Citar se haverá acréscimo ou redução (OZ) no caso de automação completa em substituição aos controles convencionais = (OZ)



SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTOR
 NATIONAL ASSOCIATION - CHAPTER BRASIL
 Av. Rio Branco, 149,
 São Paulo - SP - Brasil
 Fone (011) 221-5366 - CEP 01206
 Fax (011) 220-5481
 CQC 01.050.054/0001-81
 Insc. Estadual Isenta

Quadro III - Custo de Manutenção por TR

Nota: Inclue a mão de obra e materiais auxiliares (estopa, graxa, lubrificante, solventes, etc).

Exclue: peças de reposição, carga de gás, despesas de viagem e estadia (fora de S. Paulo)

Sistema TR Capacidade	CUSTO POR TR / US\$			
	ÁGUA GELADA	SELF-ÁGUA	SELF -AR	SPLIT
até 20	2.41	2.06	1.63	1.52
20 - 50	4.33	3.56	2.87	2.66
50 - 100	8.21	6.82	5.72	5.33
100 - 300	15.27	12.81	10.40	9.68
acima de 300	36.06	29.89	24.57	23.04

Porcentagem. acréscimo (0%)

- se o serviço for operação e manutenção = +25%
- termoacumulação c/ gelo = +15%
- termoacumulação c/ água = +20%
- fan-coil individual = +15%



SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTOR
 NATIONAL ASSOCIATION - CHAPTER BRASIL
 Av. Rio Branco, 1427
 São Paulo - SP - Brasil
 Fone (011) 221-5366 - CEP 01206
 Fax (011) 220-5481
 CGC 81.850.954/0001-88
 Insc. Estadual Isenta

Quadro IV - Desdobramento do Custo de Dutos e Bocas

Dutos

		CUSTO POR KG / US\$		
		MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
DUTO	até 50 Kg/TR	1.72	1.54	3.26
	60 a 100 Kg/TR	1.72	1.35	3.06
	acima de 100 Kg/TR	1.69	1.19	2.88
ACESSÓRIOS		10%	10%	-

Nota: - Caso use especificação SMACNA qual a redução (0%) =

- Diferença de custo de dutos convencionais x duto pre-fabricados = - 15%

Isolamento

Custo Material	CUSTO POR M ² / US\$		
	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
ISOPOR	3.36	0.40	3.75
MANTA DE LÃ DE VIDRO	5.22	0.33	5.55
PAINEL DE LÃ DE VIDRO	7.63	0.36	7.98

Comparar (07) dutos + isolamento com duto de lâ de vidro:

% de redução de custo = - 20%

Bocas

% de acréscimo

- bocas de alumínio x bocas de chapa = 10%
- difusores x troffer = 20%
- difusores x grelhas lineares = 5%

Quadro V - Desdobramento do Custo de Hidráulica

Custo por m/l / US\$
 material + m.o.

	COM COSTURA			SEM COSTURA		
	até Ø 3"	3 a 5"	5 a 10"	até Ø3"	3" a 5"	5" a 10"
TUBOS	13.55	42.50	192.70	26.56	51.43	188.60
ACESSÓRIOS	38.00	60.54	49.40	38.00	60.54	111.50
ISOLAMENTO (isopor)	5.77	8.98	18.92	5.77	8.98	18.92
RECAPEAMENTO (alumínio)	2.85	3.74	6.11	2.85	3.74	6.11
ACESSÓRIOS (suporte + saldo)	9.22	21.71	84.62	13.54	24.50	78.94

- Comentar a redução de custo (C) 87 112 101

Valvulas Borboleta x Globo e Gaveta = 15%

- Comentar a % de custo:

Quanto os registros pesam na composição da hidráulica = 5%

- Comentar quanto os filtros pesam na hidráulica = 10%

ANEXO C:

Extratos das Normas ISO 7726 e ISO 7730

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
7730

Second edition
1994-12-15

**Moderate thermal environments —
Determination of the PMV and PPD indices
and specification of the conditions for
thermal comfort**

*Ambiances thermiques modérées — Détermination des indices PMV et
PPD et spécifications des conditions de confort thermique*



Reference number
ISO 7730:1994(E)

Annex B
(normative)

Computer program for calculating predicted mean vote (PMV) and predicted percentage of dissatisfied (PPD)

The following BASIC program computes the PMV and the PPD for a given set of input variables:

Variables	Symbols in program
Clothing, clo	CLO
Metabolic rate, met	MET
External work, met	WME
Air temperature, °C	TA
Mean radiant temperature, °C	TR
Relative air velocity, m/s	VEL
Relative humidity, %	RH
Partial water vapour pressure, Pa	PA

```

10 'Computer program (BASIC) for calculation of
20 'Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)
30 'in accordance with ISO 7730
40 CLS: PRINT "DATA ENTRY" : 'data entry
50 INPUT " Clothing (clo)"; CLO
60 INPUT " Metabolic rate (met)"; MET
70 INPUT " External work, normally around 0 (met)"; WME
80 INPUT " Air temperature ( C )"; TA
90 INPUT " Mean radiant temperature ( C )"; TR
100 INPUT " Relative air velocity (m/s)"; VEL
110 PRINT " ENTER EITHER RH OR WATER VAPOUR PRESSURE BUT NOT BOTH"
120 INPUT " Relative humidity ( % )"; RH
130 INPUT " Water vapour pressure ( Pa)"; PA
140 DEF FNPS (T) = EXP (16.6536-4030.183/(T+235)) : 'saturated vapour pressure, kPa
150 IF PA=0 THEN PA=RH*10*FNPS (TA) : 'water vapour pressure, Pa
160 ICL = .155 * CLO : 'thermal insulation of the clothing in m2K/W
170 M = MET * 58.15 : 'metabolic rate in W/m2
180 W = WME * 58.15 : 'external work in W/m2
190 MW = M - W : 'internal heat production in the human body
200 IF ICL < .078 THEN FCL = 1 + 1.29 * ICL ELSE FCL=1.05 + .645*ICL
205 : 'clothing area factor
210 HCF=12.1*SQR (VEL) : 'heat transf. coeff. by forced convection
220 TAA = TA + 273 : 'air temperature in Kelvin
230 TRA = TR + 273 : 'mean radiant temperature in Kelvin
240 '-----CALCULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING BY ITERATION-----
250 TCLA = TAA + (35.5-TA) / (3.5*(6.45*ICL+.1))
255 'first guess for surface temperature of clothing
260 P1 = ICL * FCL : 'calculation term
270 P2 = P1 * 3.96 : 'calculation term
280 P3 = P1 * 100 : 'calculation term
290 P4 = P1 * TAA : 'calculation term
300 P5 = 308.7 - .028 * MW + P2 * (TRA/100) ^ 4 : 'calculation term
310 XN = TCLA / 100
320 XF = XN
330 N=0 : 'N: number of iterations
340 EPS = .00015 : 'stop criteria in iteration
350 XF=(XF+XN)/2
355 'heat transf. coeff. by natural convection
360 HCN=2.38*ABS(100*XF-TAA)^.25
370 IF HCF>HCN THEN HC=HCF ELSE HC=HCN
380 XN=(P5+P4*HC-P2*XF^4) / (100+P3*HC)
390 N=N+1
400 IF N > 150 THEN GOTO 550
410 IF ABS(XN-XF)>EPS GOTO 350
420 TCL=100*XN-273 : 'surface temperature of the clothing
430 '-----HEAT LOSS COMPONENTS-----
435 'heat loss diff. through skin

```

```

440 HL1 = 3.05*.001*(5733-6.99*MW-PA)
445 'heat loss by sweating (comfort)
450 IF MW > 58.15 THEN HL2 = .42 * (MW-58.15)
    ELSE HL2 = 0!
455 'latent respiration heat loss
460 HL3 = 1.7 * .00001 * M * (5867-PA)
465 'dry respiration heat loss
470 HL4 = .0014 * M * (34-TA)
475 'heat loss by radiation
480 HL5=3.96*FCL* (XN 4-(TRA/100) 4)
485 'heat loss by convection
490 HL6 = FCL * HC * (TCL-TA)
500 '-----CALCULATE PMV AND PPD-----
505 'thermal sensation tran coeff
510 TS = .303 * EXP(-.036*M) + .028
515 'predicted mean vote
520 PMV = TS * (MW-HL1-HL2-HL3-HL4-HL5-HL6)
525 'predicted percentage dissat.
530 PPD=100-95*EXP(-.03353*PMV 4-.2179*PMV 2)
540 GOTO 570
550 PMV=999999!
560 PPD=100
570 PRINT:PRINT"OUTPUT"           : 'output
580 PRINT " Predicted Mean Vote           (PMV): "
    ;:PRINT USING "##.#"; PMV
590 PRINT " Predicted Percent of Dissatisfied (PPD): "
    ;:PRINT USING "###.#"; PPD
600 PRINT: INPUT "NEXT RUN (Y/N)" ; R$
610 IF (R$="Y" OR R$="y") THEN RUN
620 END

```

EXAMPLE

DATA ENTRY

```

Clothing           (clo)? 1.0
Metabolic rate    (met)? 1.2
External work, normally around 0 (met)? 0
Air temperature   ( C )? 19.0
Mean radiant temperature ( C )? 18.0
Relative air velocity (m/s)? 0.1
ENTER EITHER RH OR WATER VAPOUR PRESSURE BUT NOT BOTH
Relative humidity ( % )? 40
Water vapour pressure ( Pa)?

```

OUTPUT

```

Predicted Mean Vote           (PMV) : -0.7
Predicted Percent of Dissatisfied (PPD) : 15.3

```

Annex A
(normative)

Metabolic rates of different activities

Further information on metabolic rates is given in ISO 8996.

Table A.1 — Metabolic rates

Activity	Metabolic rates	
	W/m ²	met
Reclining	46	0,8
Seated, relaxed	58	1,0
Sedentary activity (office, dwelling, school, laboratory)	70	1,2
Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry)	93	1,6
Standing, medium activity (shop assistant, domestic work, machine work)	116	2,0
Walking on the level:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Annex E (informative)

Estimation of thermal insulation of clothing ensembles

The clothing insulation (I_{cl}) can be estimated directly from the data presented in table E.1 for typical combinations of garments, or indirectly, by summation of the partial insulation values for each item of clothing

(table E.2). For sedentary persons the chair may contribute an additional insulation of 0 clo to 0,4 clo. Further information is given in ISO 9920.

Table E.1 — Thermal insulation for typical combinations of garments

Work clothing	I_{cl}		Daily wear clothing	I_{cl}	
	clo	m ² -K/W		clo	m ² -K/W
Underpants, boiler suit, socks, shoes	0,70	0,110	Panties, T-shirt, shorts, light socks, sandals	0,30	0,050
Underpants, shirt, trousers, socks, shoes	0,75	0,115	Panties, petticoat, stockings, light dress with sleeves, sandals	0,45	0,070
Underpants, shirt, boiler suit, socks, shoes	0,80	0,125	Underpants, shirt with short sleeves, light trousers, light socks, shoes	0,50	0,080
Underpants, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	0,85	0,135	Panties, stockings, shirt with short sleeves, skirt, sandals	0,55	0,085
Underpants, shirt, trousers, smock, socks, shoes	0,90	0,140	Underpants, shirt, light-weight trousers, socks, shoes	0,60	0,095
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1,00	0,155	Panties, petticoat, stockings, dress, shoes	0,70	0,105
Underwear with short legs and sleeves, shirt, trousers, boiler suit, socks, shoes	1,10	0,170	Underwear, shirt, trousers, socks, shoes	0,70	0,110
Underwear, with long legs and sleeves, thermo jacket, socks, shoes	1,20	0,185	Underwear, track suit (sweater and trousers), long socks, runners	0,75	0,115
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermo jacket, socks, shoes	1,25	0,190	Panties, petticoat, shirt, skirt, thick knee-socks, shoes	0,80	0,120
Underwear with short sleeves and legs, boiler suit, thermo jacket and trousers, socks, shoes	1,40	0,220	Panties, shirt, skirt, roundneck sweater, thick knee-socks, shoes	0,90	0,140
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermo jacket and trousers, socks, shoes	1,55	0,225	Underpants, singlet with short sleeves, shirt, trousers, V-neck sweater, socks, shoes	0,95	0,145
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes	1,85	0,285	Panties, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1,00	0,155

Work clothing	I_{cl}		Daily wear clothing	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes, cap, gloves	2,00	0,310	Panties, stockings, shirt, skirt, vest, jacket	1,00	0,155
Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket and trousers, outer thermo jacket and trousers, socks, shoes	2,20	0,340	Panties, stockings, blouse, long skirt, jacket, shoes	1,10	0,170
Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket and trousers, Parka with heavy quilting, overalls with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves	2,55	0,395	Underwear, singlet with short sleeves, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1,10	0,170
			Underwear, singlet with short sleeves, shirt, trousers, vest, jacket, socks, shoes	1,15	0,180
			Underwear with long sleeves and legs, shirt, trousers, V-neck sweater, jacket, socks, shoes	1,30	0,200
			Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, vest, jacket, coat socks, shoes	1,50	0,230

Table E.2 — Thermal insulation for individual pieces of garments

Garment description	Thermal insulation clo
Underwear	
Panties	0,03
Underpants with long legs	0,10
Singlet	0,04
T-shirt	0,09
Shirt with long sleeves	0,12
Panties and bra	0,03
Shirts — Blouses	
Short sleeves	0,15
Light-weight, long sleeves	0,20
Normal, long sleeves	0,25
Flannel shirt, long sleeves	0,30
Light-weight blouse, long sleeves	0,15
Trousers	
Shorts	0,06
Light-weight	0,20
Normal	0,25
Flannel	0,28
Dresses — Skirts	
Light skirts (summer)	0,15
Heavy skirt (winter)	0,25
Light dress, short sleeves	0,20
Winter dress, long sleeves	0,40
Boiler suit	0,55
Sweaters	
Sleeveless vest	0,12
Thin sweater	0,20
Sweater	0,28
Thick sweater	0,35
Jackets	
Light, summer jacket	0,25
Jacket	0,35
Smock	0,30
High-insulative, fibre-pelt	
Boiler suit	0,90
Trousers	0,35
Jacket	0,40
Vest	0,20
Outdoor clothing	
Coat	0,60
Down jacket	0,55
Parka	0,70
Fibre-pelt overalls	0,55
Sundries	
Socks	0,02
Thick, ankle socks	0,05
Thick, long socks	0,10
Nylon stockings	0,03
Shoes (thin soled)	0,02
Shoes (thick soled)	0,04
Boots	0,10
Gloves	0,05

**Ergonomics of the thermal environment —
Instruments for measuring physical
quantities**

*Ergonomie des ambiances thermiques — Appareils de mesure des
grandeurs physiques*

This material is reproduced from ISO documents under international
Organization for Standardization (ISO) Copyright License number
IHS/ICC/1996. Not for resale. No part of these ISO documents may be
reproduced in any form, electronic retrieval system or otherwise, except as
allowed in the copyright law of the country of use, or with the prior written
consent of ISO (Case postale 56, 1211 Geneva 20, Switzerland, Fax +41 22
734 10 79), IHS or the ISO Licensor's members.



Reference number
ISO 7726:1998(E)

Annex A (informative)

Measurement of air temperature

A.1 Introduction

The air temperature shall be taken into account when determining heat transfer by convection at the level of the person. The measurement of this quantity, while often considered simple, can in fact lead to considerable errors if a number of precautions are not taken.

A.2 Principle for measuring a temperature

Temperature is obtained by measuring physical quantities which are its continuous functions: lengths of solids, volumes of liquids, electrical resistance, electromotive force.

Whatever the physical quantity measured, a sensor can only measure the temperature at which it finds itself and this temperature may differ from the temperature of the fluid (air for instance) to be measured.

A.3 Precautions to be taken when using a temperature probe

A.3.1 Reduction of the effect of radiation

Care should be taken to prevent the probe from being subjected to radiation from neighbouring heat sources as the temperature measured in such a case would not be the actual temperature of the air but a temperature intermediate between the air temperature, and the mean radiant temperature.

Various means of reducing the effect of radiation on the probe are available, such as the following:

- a) Reduction of the emission factor of the sensor, by the use of a polished sensor when the latter is made of metal or a sensor covered with a reflective paint when it is of the insulating type.
- b) Reduction in the difference in temperature between the sensor and the adjacent walls. Since it is not possible to modify the temperature of the walls of the enclosure, one or more reflective screens are used, arranged between the sensor and the enclosure. Thus the sensor "views" a wall, the temperature of which gradually approaches that of the sensor as the number of screens increases. This method of protecting the sensor is effective and easy to install.

The screens can in practice be made from thin (0,1 mm or 0,2 mm) sheets of reflective metal (for example aluminium). When the screens are used on their own, i.e. without forced ventilation, the inner screen shall be separated from the sensor by an air space large enough to allow air to circulate inside by natural convection.

- c) Increasing the coefficient of heat transfer by convection, by an increase in the air velocity around the sensor by forced ventilation (mechanical or electrical ventilator) and by a reduction in the size of the sensor (thermistor, thermocouple).

Figure A.1 shows the relation between the air velocity, sensor size and relative influence of air and radiant temperature on an unshielded air temperature sensor. The measured temperature can be expressed as $X, t_a + (1 - X), t_r$ where X is the relative influence of air temperature. Figure A.1 shows a significant influence of both sensor size (diameter) and air velocity. The figure is based on the heat exchange calculations for a sphere (see annex B). It is assumed that the emissivity of the sensor is 0,95.

EXAMPLE:

If the sensor is 1 mm in diameter and air velocity = 0,15 m/s, the temperature of the sensor

$$= 0,85 t_a + 0,15 t_r.$$

The figure is only for information purposes and should not be used to correct a measurement.

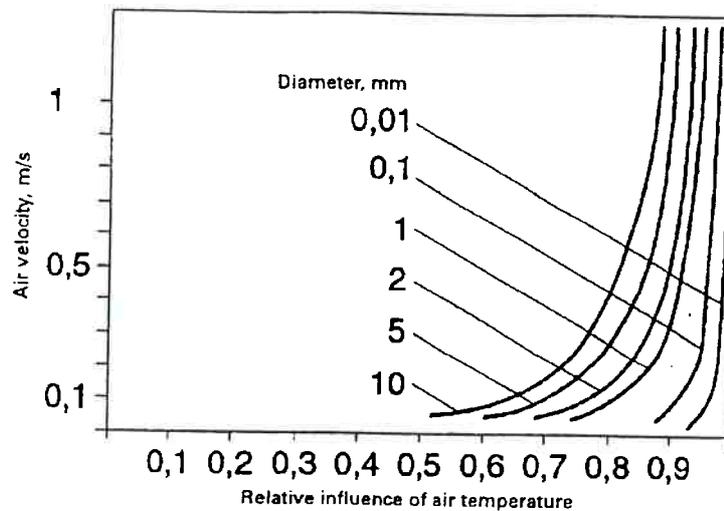


Figure A.1 — The relative influence of air temperature on sensor temperature for different air velocities and sensor diameters (For larger diameters see figure B.1)

Certain devices use the three means of protection mentioned above simultaneously, which results in small measuring errors.

A.3.2 Thermal inertia of the sensor

A thermometer placed in a given environment does not indicate the air temperature instantaneously. It requires a certain period to reach equilibrium.

A measurement should not be made before a period has elapsed equal to at least 1,5 times the response time (90 %) of the probe.

A thermometer will respond more rapidly:

- the smaller and lighter the temperature sensor is and the lower its specific heat capacity;
- the better the thermal exchanges with the environment. With regard to this, increasing the coefficient of heat transfer by convection at the level of the sensor, already an advantage as far as the established conditions are concerned, also improves the response of the thermometer during transitional conditions.

A.4 Types of temperature sensor

- a) Expansion thermometers:
 - 1) liquid expansion thermometer (mercury);
 - 2) solid expansion thermometer.
- b) Electrical thermometers:
 - 1) variable resistance thermometer
 - platinum resistor;
 - thermistor;
 - 2) thermometer based on the generation of an electromotive force (thermocouple).
- c) Thermomanometers (variation in the pressure of a liquid as a function of temperature).

Annex B (informative)

Measurement of the mean radiant temperature

B.1 Introduction

The net amount of radiant heat lost or received by the human body is the algebraic sum of all radiant fluxes exchanged by its exposed parts with the various surrounding heat sources. Each of these fluxes can be calculated knowing the dimensions, locations and thermal characteristics (surface temperature and emissivity) of the source and of the exposed body or clothing part. This method however, soon becomes complex and time consuming to put into effect once the number of sources becomes large or the sources have elaborate shapes.

The aim of this annex is

- to describe a method for determining the mean radiant temperature from the measurement of the temperature of the black globe and the air temperature and air velocity at the level of this globe;
- to summarize other methods for measuring the mean radiant temperature;
- to indicate the principle for calculating the mean radiant temperature using angle factors.

The black-globe thermometer will be used in this annex as an instrument for measuring a physical value, namely the mean radiant temperature.

B.2 Measurement of the mean radiant temperature using the black globe

B.2.1 Description of the black-globe thermometer

The black-globe thermometer consists of a black globe in the centre of which is placed a temperature sensor such as the bulb of a mercury thermometer, a thermocouple or a resistance probe.

The globe can in theory have any diameter but as the formulae used in the calculation of the mean radiant temperature depend on the diameter of the globe, a diameter of 0,15 m, specified for use with these formulae, is generally recommended.

It should be noted that the smaller the diameter of the globe, the greater the effect of the air temperature and air velocity, thus causing a reduction in the accuracy of the measurement of the mean radiant temperature.

So that the external surface of the globe absorbs the radiation from the walls of the enclosure, the surface of the globe shall be darkened, either by means of an electro-chemical coating or, more generally, by means of a layer of matt black paint.

B.2.2 Principle of the measurement

The black globe shall be placed in the actual enclosure where the mean radiant temperature \bar{T}_r , is to be measured. The globe tends towards a thermal balance under the effect of the exchanges due to the radiation coming from the different heat sources of the enclosure and under the effect of the exchanges by convection.

The temperature of the globe at the thermal balance allows \bar{T}_r to be determined.

The temperature sensor placed inside the globe allows the mean temperature of the latter to be measured. In fact, the temperature of the inner surface of the globe (thin) and the temperature of the air outside the globe (closed space) are practically equal to the mean external temperature of the globe.

NOTE — Throughout the remaining part of this International Standard, the expressions temperature of the globe and temperature of the sensor placed inside the globe will be identical.

The balance of the thermal exchanges between the globe and the environment is given by the equation

$$q_r + q_c = 0 \quad (1)$$

where

q_r is the heat exchange by radiation between the walls of the enclosure and the globe, in watts per square metre;

q_c is the heat exchange by convection between the air and the globe, in watts per square metre.

The heat transfer by radiation between the walls of the enclosure, characterized by the mean radiant temperature, and the globe is expressed as follows:

$$q_r = \varepsilon_g \sigma (\bar{T}_r^4 - T_g^4) \quad (2)$$

where

ε_g is the emissivity of the black globe (without dimension);

σ is the Stefan-Boltzmann constant, in watts per square metre kelvin to the fourth power; [$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$];

\bar{T}_r is the mean radiant temperature, in kelvins;

T_g is the temperature of the black globe, in kelvins.

The heat transfer by convection between the air contained in the enclosure and the globe is given by the equation:

$$q_c = h_{cg} (T_a - T_g) \quad (3)$$

where

h_{cg} is the coefficient of heat transfer by convection at the level of the globe, in watts per square metre kelvin.

In the case of natural convection

$$h_{cg} = 1,4 \left(\frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4}$$

and in the case of forced convection

$$h_{cg} = 6,3 \frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}}$$

where

D is the diameter of the globe, in metres;

v_a is the air velocity at the level of the globe, in metres per second.

In a type C environment, the coefficient of heat transfer by convection to be adopted is the one giving the highest value. In a type S environment, it is possible either to adopt the same method as previously or, more simply, to adopt the coefficient of heat transfer in forced convection directly.

The thermal balance of the black globe is expressed as follows:

$$\varepsilon_g \sigma (\bar{T}_r^4 - T_g^4) + h_{cg} (T_a - T_g) = 0 \quad (4)$$

The mean radiant temperature is given by

$$\bar{t}_r = 4 \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma} (T_g - T_a)} \quad (5)$$

By natural convection, one obtains:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0,25 \times 10^8}{\varepsilon_g} \left(\frac{t_g - t_a}{D} \right)^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (6)$$

In the case of the standard globe $D = 0,15$ m, $\varepsilon_g = 0,95$ (matt black paint) and equation (6) becomes

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 |t_g - t_a|^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (7)$$

By forced convection, one obtains

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v_a^{0,6}}{\varepsilon_g \times D^{0,4}} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (8)$$

or for the standard globe

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (9)$$

In practice, it is this expression which will be most frequently used to calculate the mean radiant temperature. It is valid only for a standard globe by forced convection.

The relative influence of air temperature and mean radiant temperature on a globe is shown in figure B.1.

EXAMPLE:

For a 100 mm globe at an air velocity of 0,35 m/s, the globe temperature, $t_g = 0,6 t_a + 0,4 \bar{t}_r$.

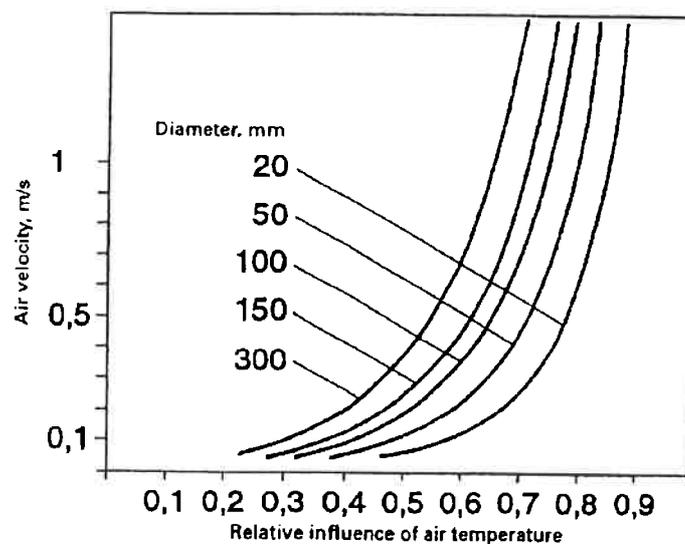


Figure B.1 — Relative influence of air temperature, t_a , and mean radiant temperature, \bar{t}_r , on the globe temperature for different air velocities and globe diameters

EXAMPLES:

The following results were obtained in an environment using a standard globe:

$$t_g = 55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v_a = 0,3 \text{ m/s}$$

The coefficient of exchange at the level of the globe is calculated as follows:

— in natural convection

$$h_{cg} = 1,4 \left(\frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4} = 1,4 \left(\frac{55 - 30}{0,15} \right)^{0,25} = 5 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

— in forced convection

$$h_{cg} = 6,3 \left(\frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}} \right) = 6,3 \times \frac{(0,3)^{0,6}}{(0,15)^{0,4}} = 6,5 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

The coefficient of exchange in forced convection will therefore be used.

The mean radiant temperature is calculated according to equation (9):

$$\bar{t}_r = \left[(55 + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times v_a^{0,6} (55 - 30) \right]^{1/4} - 273$$

$$\bar{t}_r = 74,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

If the measurement is carried out with a globe with the following characteristics:

$$D = 0,1 \text{ m}$$

$$\epsilon_g = 0,95$$

the temperature measured for the black globe is 53,2 °C.

The mean radiant temperature is then calculated according to equation (8):

$$\bar{t}_r = \left[(53,2 + 273)^4 + \frac{11 (0,3^{0,6})}{0,95 (0,10^{0,4})} (53,2 - 30) \right]^{1/4} - 273 = 74,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

The figure for the mean radiant temperature characteristic of the environment considered is thus obtained.

B.2.3 Precautions to be taken when using a black-globe thermometer

B.2.3.1 As the radiation of an enclosure is frequently one of the main factors in the thermal stress of an environment, an incorrect determination of the mean radiant temperature can lead to large errors in the overall assessment of this stress. The precautions in B.2.3.2 to B.2.3.6 should be considered:

B.2.3.2 In the case of heterogeneous radiation it is necessary to use three black globes. When the radiation is heterogeneous, the measurement of a black-globe temperature carried out at a single point is not representative of the overall radiative field received by the subject. It is, therefore, necessary to place the black globes at the levels

defined in this International Standard and in such a way that the radiation received by each of the globes is very close to the radiation received by each part of the body located at the same level. The mean radiant temperature is equal to the mean, weighted according to the coefficients defined in this International Standard, of the measurements at the specified levels.

EXAMPLE:

The temperature measurements for three globes located at the level of the head, the abdomen and the ankles of a person lead respectively to the calculation of the following three mean radiant temperatures:

$$\bar{t}_{r1} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{t}_{r2} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{t}_{r3} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

The environment is heterogeneous with regard to radiation and high thermal stress. The mean radiant temperature is calculated by applying the weighting coefficients of table 4 as follows:

$$\bar{t}_r = \frac{1 \times 25 + 2 \times 50 + 1 \times 40}{4} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

However, if the measurement had been carried out using a single black globe placed at the level of the abdomen, the measuring error would have been of the order of 9 °C.

B.2.3.3 The response time for a black-globe thermometer is about 20 min to 30 min according to the physical characteristics of the globe and the environmental conditions.

Successive readings of this temperature will allow the thermal balance to be registered easily.

Because of its high inertia, the black globe thermometer cannot be used to determine the radiant temperature of environments which vary rapidly.

B.2.3.4 The accuracy of measuring the mean radiant temperature using a black globe can vary to a great extent according to the values for the other characteristics of the environment.

In each case, a check should be carried out to determine whether the accuracy achieved is in conformity with the value indicated in this International Standard and if it is not, to indicate the actual accuracy.

B.2.3.5 The use of a black globe thermometer for the assessment of the mean radiant temperature is an approximation due to the difference in shape between a person and a globe. In particular, the radiation coming from a ceiling or a floor will be over-estimated by the globe in relation to that received by a standing or seated person.

An ellipsoid with projected area factors as shown in table B.1 may be considered a closer approximation of the shape of the human body. Table B.1 shows the projected area factors for a person, an ellipsoid and a sphere. The projected area factor is estimated as A_{pr}/A_r , where A_{pr} is the surface area projected on one direction and A_r is the total radiant surface area. This factor is related to the shape of a person or a sensor and indicates the relative importance of the radiation from different directions.

The inclination of the axis of the ellipsoid depends on the position of the subject: standing, axis vertical; seated, axis inclined at 30°; lying, axis horizontal.

B.2.3.6 The use of a globe thermometer in the case of exposure to short-wave radiation (for example the sun) requires the use of a paint on the globe (for example medium grey) with approximately the same absorptivity for short wave radiation as the outer surface of clothed persons (except for the measurement of the WBGT where this factor is taken into account in the weighting formula between the different quantities). The emissivity for the paint should be approximately 0,95 for long-wave radiation. An alternative is to use the black globe and calculate the mean radiant temperature taking into account the absorptivity of the clothing worn.

Table B.1 — Projected area factors

		Up/down	Left/right	Front/back
Standing	Person	0,08	0,23	0,35
	Ellipsoid	0,08	0,28	0,28
	Sphere	0,25	0,25	0,25
Seated	Person	0,18	0,22	0,30
	Ellipsoid	0,18	0,22	0,28
	Sphere	0,25	0,25	0,25

B.3 Other measuring methods

B.3.1 Two-sphere radiometer

In this method, two spheres with different emissivities (one black and one polished) are used. As the two spheres are heated to the same temperature, they will be exposed to the same convective heat loss. As the emittance of the black sphere is higher than the polished one, there is a difference in the heat supply to the two spheres and this is a measure of the radiation.

To estimate the mean radiant temperature, the emissivity and temperature of the sensors are required.

The mean radiant temperature is calculated from the equation:

$$\bar{T}_r^4 = T_s^4 + \frac{P_p - P_b}{\sigma(\epsilon_b - \epsilon_p)} \quad (10)$$

where

\bar{T}_r is the mean radiant temperature, in kelvins;

T_s is the sensor temperature, in kelvins;

P_p is the heat supply to the polished sensor, in watts per square metre;

P_b is the heat supply to the black sensor, in watts per square metre;

ϵ_p is the emissivity of the polished sensor;

ϵ_b is the emissivity of the black sensor;

σ is the Stefan-Boltzmann constant, in watts per square metre kelvin to the fourth power [$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$].

Instead of a sphere, an ellipsoid shaped sensor, which is closer to the shape of the human body, can be used.

B.3.2 Constant-air-temperature sensor

In this method, a sensor (sphere, ellipsoid) is controlled at the same temperature as the surrounding air temperature; there being no convection heat loss and the necessary heat supply (cooling supply) to the sensor being equal to the radiant heat loss (or gain).

The mean radiant temperature is calculated by equation (11):

$$\bar{T}_r^4 = T_s^4 - \frac{P_s}{\sigma \epsilon_s} \quad (11)$$

where

\bar{T}_r is the mean radiant temperature, in kelvins;

T_s is the sensor temperature, in kelvins;

P_s is the heat supply (cooling supply) to the sensor, in watts per square metre;

ϵ_s is the emissivity of the sensor;

σ is the Stefan-Boltzmann constant, in watts per square metre kelvin to the fourth power.

B.4 Method for calculation of mean radiant temperature

B.4.1 Calculation from the temperature of the surrounding surfaces

The mean radiant temperature can be calculated from

- the surface temperature of the surrounding surfaces;
- the angle factor between a person and the surrounding surfaces, a function of the shape, the size and the relative positions of the surface in relation to the person.

As most building materials have a high emissivity (ϵ), it is possible to disregard the reflection i.e. to assume that all the surfaces in the room are black.

The following equation (12) is then used:

$$\bar{T}_r^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_N^4 F_{p-N} \quad (12)$$

where

\bar{T}_r is the mean radiant temperature, in kelvins;

T_N is the surface temperature of surface N, in kelvins;

F_{p-N} is the angle factor between a person and surface N.

As the sum of the angle factors is unity, the fourth power of mean radiant temperature will be seen to be equal to the mean value of the surrounding surface temperatures to the fourth power, weighted according to the size of the respective angle factors.

The angle factors (F_{p-N}) can be estimated according to figures B.2 to B.5 in the case of rectangular surfaces. The angle factors may also be calculated from the equation in figure B.6 where AC is a/c and BC is b/c on figures B.2 to B.5. Figures B.2 to B.5 assume a certain distance between a surface and a person. For floors or other surfaces, where the person is close, figures B.2 to B.5 underestimate the angle factor to these surfaces. For typical indoor environments, the effect on the mean radiant temperature will be less than 1 K.

If there are only relatively small temperature differences between the surfaces of the enclosure, equation (12) can be simplified to the following linear form:

$$\bar{T}_r = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_N F_{p-N} \quad (13)$$

In other words, the mean radiant temperature is calculated as the mean value of the surrounding temperatures weighted according to the magnitude of the respective angle factors. Equation (13) will always give a slightly lower mean radiant temperature than equation (12), but in many cases the difference is small. If, for example, half of the surroundings ($F_p - N = 0,5$) has a temperature which is 10 K higher than the other half, the difference between the calculated mean radiant temperatures according to equation (12) and equation (13) will be only 0,2 °C. If, however, there are large differences in temperature between the surfaces, the error in using equation (13) can be considerable. If the temperature difference in the example above is 100 K, the mean radiant temperature will, according to formula (13), be calculated approximately 10 K too low.

B.4.2 Calculation from the plane radiant temperature

The mean radiant temperature may be calculated from

- the plane radiant temperature, t_{pr} , in six directions (see annex C);
- the projected area factors for a person in the same six directions.

The projected area factors for a seated or standing person are given in table B.1 for the six directions: up (1), down (2), left (3), right (4), front (5), back (6).

The mean radiant temperature can then be calculated by multiplying the six measured values by the relevant projection factors given in table B.1 adding the resultant data and dividing the result by the sum of the projected area factors, i.e. for a seated person:

$$\bar{t}_r = \frac{0,18 (t_{pr}[\text{up}] + t_{pr}[\text{down}]) + 0,22 (t_{pr}[\text{right}] + t_{pr}[\text{left}]) + 0,30 (t_{pr}[\text{front}] + t_{pr}[\text{back}])}{2 (0,18 + 0,22 + 0,30)}$$

and for a standing person:

$$\bar{t}_r = \frac{0,08 (t_{pr}[\text{up}] + t_{pr}[\text{down}]) + 0,23 (t_{pr}[\text{right}] + t_{pr}[\text{left}]) + 0,35 (t_{pr}[\text{front}] + t_{pr}[\text{back}])}{2 (0,08 + 0,23 + 0,35)}$$

where

\bar{t}_r is the mean radiant temperature;

t_{pr} is the plane radiant temperature.

Where the orientation of the person is not fixed, the average of the Right/Left and Front/Back projected area factors is used.

The equations are then simplified to:

$$\text{Sitting } \bar{t}_r = 0,13 (t_{pr}[\text{up}] + t_{pr}[\text{down}]) + 0,185 (t_{pr}[\text{right}] + t_{pr}[\text{left}] + t_{pr}[\text{front}] + t_{pr}[\text{back}])$$

$$\text{Standing } \bar{t}_r = 0,06 (t_{pr}[\text{up}] + t_{pr}[\text{down}]) + 0,220 (t_{pr}[\text{right}] + t_{pr}[\text{left}] + t_{pr}[\text{front}] + t_{pr}[\text{back}])$$

B.5 Other radiant heat flow quantities

B.5.1 General

Some instruments measure the radiation in watts per square metre. This clause shows how this may be converted into mean radiant or plane radiant temperature. To describe the radiant heat flow through a defined plane by radiant sources in the steel and glass industries, gas heating systems in cold storage, and solar radiation in buildings, the heat flow is measured using the quantity of directional radiation ($W \cdot m^2$).

Annex D (informative)

Measurement of the absolute humidity of the air

D.1 Introduction

The absolute humidity of the air is taken into account when determining the transfer of heat by evaporation from a subject. A high air humidity reduces evaporation of sweat and thus constitutes a thermal stress for the subject.

This annex describes the principles of and the precautions to be taken when using the following two types of appliance:

- psychrometer;
- lithium chloride hygrometer.

It also gives a brief resume of the main characteristics of humid air.

D.2 Thermo-hygrometric characteristics of humid air

D.2.1 General

Humid air is a mixture of several gases which can be divided into two groups:

- the gases which make up dry air (oxygen, nitrogen, etc.); and
- water vapour.

At any given temperature, air cannot hold more than a certain amount of water vapour. Beyond that amount, the water vapour condenses. As the temperature of the air increases, so does the maximum amount of water vapour it can hold.

D.2.2 Absolute humidity

D.2.2.1 Introduction

The values connected with the actual quantity of water vapour contained in the air characterize the absolute humidity of the environment.

Two values are generally used to characterize the absolute humidity of the air: the humidity ratio and the partial pressure of water vapour.

D.2.2.2 Humidity ratio

The humidity ratio W_a , for a given sample of moist air, is the ratio of the mass of water vapour in the sample to the mass of dry air in the sample:

$$W_a = \frac{M_v}{M_a} \quad (24)$$

where

W_a is the humidity ratio;

M_v is the mass of the water vapour;

M_a is the mass of dry air in a given sample of humid air.

D.2.2.3 Partial pressure

The partial pressure of water vapour p_a of the humid air is the pressure which the water vapour would exert if it alone occupied the volume occupied by the humid air at the same temperature.

These two values (W_a and p_a) are connected by the relationship (presuming the gases to be perfect)

$$W_a = 0,6220 \frac{p_a}{p - p_a} \quad (25)$$

where

W_a is the humidity ratio;

p_a is the partial pressure of water vapour;

p is the total atmospheric pressure.

At saturation point, these two values are known as the humidity ratio at saturation W_{as} and the saturation pressure or saturated vapour pressure p_{as} .

The saturated vapour pressure p_{as} is connected to the absolute temperature T of the humid air mixture by a one-to-one relationship.

D.2.3 Relative humidity

The values giving the composition of the air in terms of water vapour in relation to the maximum amount it can hold at a given temperature characterize the relative humidity of the environment.

The relative humidity e is the ratio between the partial pressure of water vapour p_a in humid air and the water vapour saturation pressure p_{as} at the same temperature and the same total pressure

$$e = \frac{p_a}{p_{as}} \quad (26)$$

The relative humidity is often expressed as a percentage in accordance with the following relationship:

$$RH = 100 e$$

With regard to the heat transfer between man and his environment by evaporation, it is the absolute humidity of the air which has to be taken into account.

D.2.4 Direct determination of the thermo-hygrometric characteristics of humid air using a psychometric chart

The main characteristics of humid air are usually grouped together in a chart known as a psychometric chart (see figure D.1). The coordinates of this chart are as follows:

- on the x -axis, the air temperature t_a , in degrees Celsius;
- on the y -axis, the partial pressure of water vapour p_a of the air, expressed in kilopascals.

A given sample of humid air is represented by a point on the chart. It should be noted, however, that at a given temperature, the absolute humidity of the air cannot exceed a maximum amount which corresponds to a relative humidity of 100 %, called saturation.

The thermo-hygrometric characteristics given in the chart refer to an atmospheric pressure of 101,3 kPa. Humidity measurements carried out at different pressures require the use of charts intended for these pressures.

EXAMPLE:

Atmospheric pressure: 1 bar = 10^5 Nm^{-2} = 100 kPa.

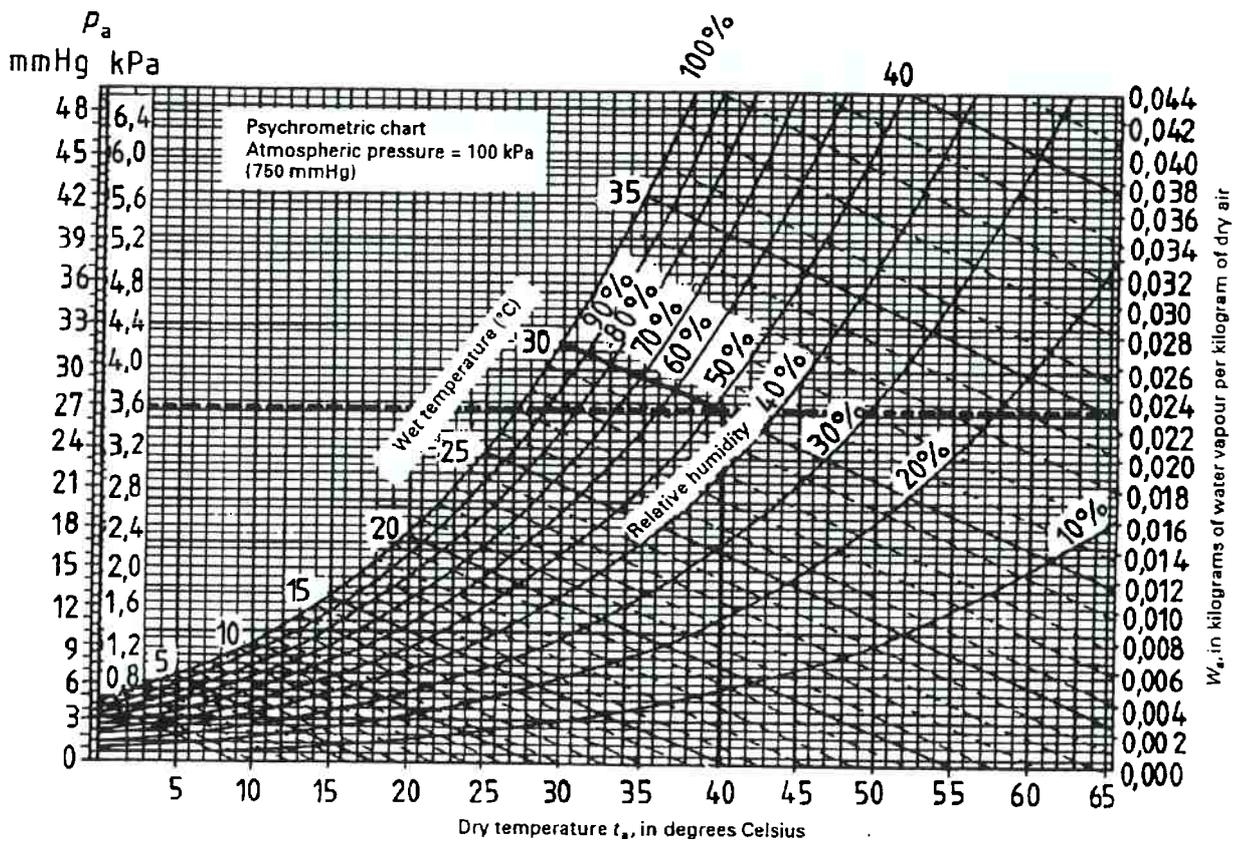


Figure D.1 — Psychrometric chart

Consider a sample of humid air which corresponds to the point of intersection of the heavy lines of the psychrometric chart. The thermo-hygrometric characteristics of this sample will be as follows:

- air temperature: $t_a = 40$ °C
- partial pressure of water vapour: $p_a = 3,6$ kPa
- saturated vapour pressure $p_{as} = 7,4$ kPa
- relative humidity: $e = 0,49$ or $RH = 49$ %; or $e = \frac{p_a}{p_{as}} = \frac{3,6}{7,4} = 0,49$

D.3 Hygrometer types

D.3.1 Dew-point hygrometers — Principle

Condensation of the water vapour contained in the air on a mirror cooled to the dew-point of the mixture.

D.3.2 Electrical conductivity variation hygrometer

D.3.2.1 Lithium chloride hygrometer (to measure the absolute humidity) — Principle

Determination of the absolute humidity by measuring the variation in temperature due to the variation in electrical conductivity of the sensor (see clause D.5).

D.3.2.2 Capacitance hygrometer (to measure the relative humidity) — Principle

Determination of the relative humidity by measuring the variation in electrical capacity of the sensor.

D.3.3 Absorption hygrometer (hair type) — Principle

Deformation or elongation of certain organic materials caused by the surface tension of liquid water in the pores of these porous materials. Determination of the relative humidity.

This type of hygrometer should be calibrated frequently.

D.3.4 Psychrometer — Principle

Cooling of a wet thermometer in a current of air by evaporation (see clause D.4).

The most common humidity conversion equations are summarized in table D.1.

D.4 Measurement of the absolute humidity using psychrometry

D.4.1 Description and principle of operation

A psychrometer consists of two thermometers and a device to ensure ventilation of the thermometers at a minimum air velocity (see figure D.2). By thermometer is meant any temperature sensor such as a mercury thermometer, thermocouple, resistance probe, etc.

The first thermometer is an ordinary thermometer indicating the air temperature t_a . This will be referred to as the "dry" temperature of the air as opposed to the "wet" temperature indicated by the second thermometer.

The latter consists of a thermometer surrounded by a wet wick generally made from close-meshed cotton. The end of the wick lies in a container of water. The water is raised by capillary attraction from the container to the thermometer and then evaporates at a rate dependent upon the humidity of the air. This results in a greater cooling of the thermometer the drier the air (this cooling is limited by the heat transfer due to air convection). The temperature indicated by the thermometer surrounded by the wet wick is referred to as the wet temperature (psychrometric) t_w .

The observed dry temperature and wet temperature are used in the determination of the absolute humidity of the air.

Table D.1 — Humidity conversion equations

Parameter	Equation	No.	Unit
p_{as}	$= 0,611 \times \exp\left(\frac{17,27 t_a}{t_a + 237,3}\right)$	* (1)	kPa
	$= 100 \frac{p_a}{RH}$	(2)	kPa
p_a	$= p_{as w} - 6,27 \times 10^{-4} \times (t_a - t_w)$	* (3)	kPa
	$= 0,01 \times p_{as} \times RH$	(4)	kPa
	$= \frac{p}{\frac{0,6220}{W_a} + 1}$	(5)	kPa
t_d	$= 38 \times \lg\left(\frac{1000 W_a}{4,8}\right)$	* (6)	°C
	$= 237,3 \frac{\ln\left(\frac{p_a}{0,611}\right)}{17,27 - \ln\left(\frac{p_a}{0,611}\right)}$	* (7)	°C
W_a^{**}	$= 4,8 \times 10^{-3} \times 10^{\frac{t_d}{38}}$	* (8)	kg/kg
	$= 0,6220 \frac{p_a}{p - p_a}$	(9)	kg/kg
RH	$= 100 \times \frac{p_a}{p_{as}}$	(10)	%

* Approximated equations p = atmospheric pressure

** The ratio of two masses, W_a , is a dimensionless value. However, in order to determine the correct order of the values, it is often followed by the words "kg of water/kg of dry air" to signify that the sample contains W_a kg of water per kg of dry air.

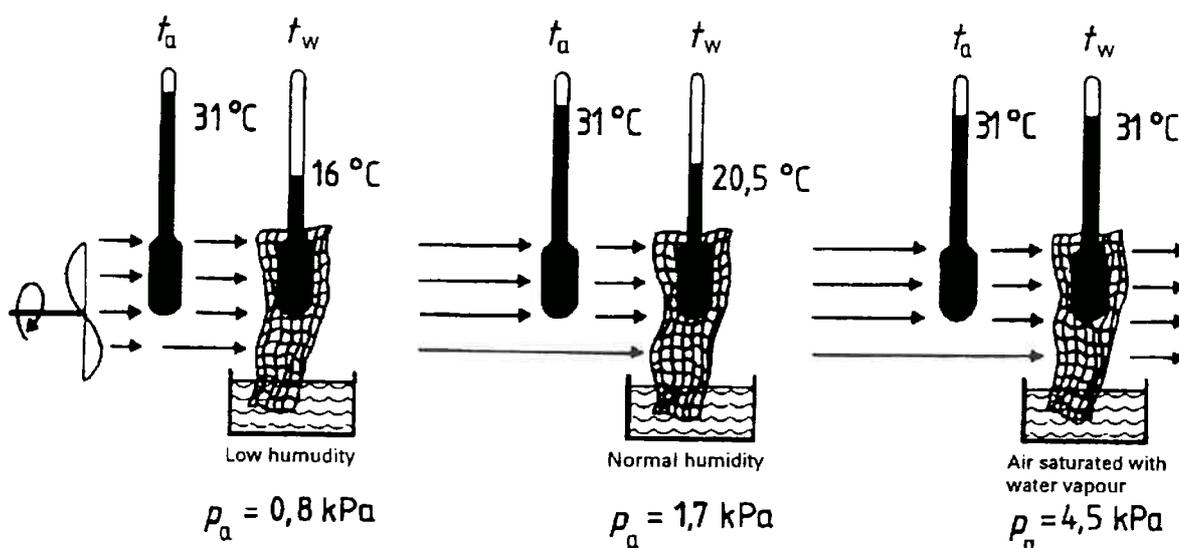


Figure D.2 — Principle of operation of a psychrometer

D.4.2 Direct determination of the absolute humidity of the air using a psychrometric chart

The absolute humidity of the air, expressed in terms of partial pressure of water vapour, is linked to the wet thermodynamic temperature by a relationship of the following form:

$$p_a = p_{as,w} - Ap(t_a - t_w) \quad (27)$$

where

p_a is the partial pressure of the water vapour in the air, in the same units as $p_{as,w}$ and p ;

t_a is the air temperature, in degrees Celsius;

t_w is the psychrometric wet temperature, in degrees Celsius;

p is the total atmospheric pressure, in kilopascals;

$p_{as,w}$ is the saturated vapour pressure determined at the wet temperature t_w , in kilopascals;

A is the psychrometric coefficient, in degrees Celsius to the power of minus one.

It is recommended to use $A = 6,67 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

This expression can also be written:

$$p_a = -Ap t_a + Ap t_w + p_{as,w} \quad (28)$$

or

$$p_a = -Ap t_a + f(t_w) \quad (29)$$

Thus in a psychrometric chart, presuming the psychrometric coefficient A to be more or less constant, the equal wet temperature curves are parallel straight lines of slope $(-Ap)$.

The intersection of the wet temperature t_w straight line with the vertical line drawn to the air temperature t_a gives a point representative of the humid air considered.

p_a is then read directly on the y -axis.

EXAMPLE:

Taking the previous example

$$p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa};$$

$$t_a = 40 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_w = 30 \text{ }^\circ\text{C};$$

the use of the psychrometric chart leads to the following value:

$$p_a \approx 3,6 \text{ kPa}$$

D.4.3 Precautions to be taken

D.4.3.1 General

The simplicity of the principle and the use of a psychrometer should not cause one to forget the precautions to be taken during its use which, if not followed, can lead to very considerable measuring errors.

D.4.3.2 The wet thermometer should be ventilated at a sufficient velocity generally at least 4 m/s to 5 m/s.

The air may be renewed either by rapidly moving the wet thermometer manually in the environment (whirling psychrometer), or by sucking air with a microturbine or a small ventilator driven by an electrical or mechanical motor. As a general rule, small sized temperature sensors require lower minimum air velocities.

The psychrometric wet temperature should not be confused with the natural wet temperature which is measured using a naturally ventilated sensor with a wet wick.

D.4.3.3 The dry and wet thermometers should be protected from radiation by a screen.

When the mean radiant temperature is higher or lower than the air temperature, the air temperature sensor should be protected by using one or more screens.

As the wet temperature may also be different from the mean radiant temperature, it is important that the wet thermometer be protected.

D.4.3.4 The wick around the wet thermometer should extend beyond the sensitive part of the sensor in order to eliminate errors due to thermal conduction in the thermometer.

If this precaution is not taken, the sensitive part of the sensor cooled by evaporation is at the wet temperature, whereas the non-sensitive part, not being cooled, is at the air temperature. This results in a transfer of heat by conduction between the two parts and consequently in an error in the measurement of the wet temperature.

The wet wick should therefore extend sufficiently far along the thermometer to cool the thermometer beyond the sensitive part.

Table D.2 indicates the wick lengths which have been recommended for different types of thermometer.

Table D.2 — Wet Thermometer — Length of thermometer covered by the wet wick

Dimensions in millimetres

Type	Diameter	Wick length
Mercury thermometer	All	20 above the bulb
Thermocouple	1,2	60
	0,45	30
	0,12	10

D.4.3.5 The water wetting the wick should be distilled water, since the water vapour pressure in the case of saline solutions is less than that in the case of pure water.

D.4.3.6 The wick of the wet thermometer should allow the water to circulate easily by capillary attraction, particularly when the absolute humidity of the air is low.

In these latter conditions, the increased evaporation of water at the thermometer requires the water to rise quickly from its reservoir. Replace the wick if soiled.

D.4.3.7 It is necessary to measure the barometric pressure when this deviates perceptibly (2 %) from 101,3 kPa.

As the phenomenon of evaporation depends on the atmospheric pressure (variable in particular as a function of the altitude), it is necessary to use charts corresponding to the barometric pressure measured.

Annex E (informative)

Measurement of air velocity

E.1 Introduction

The air velocity should be taken into account when determining heat transfer by convection and evaporation at the position of a person. It is generally difficult to perform accurate velocity measurements in spaces, because typically airflow is turbulent, i.e. the air velocity fluctuates randomly and most often changes its direction as well. In the case of thermal environments, the speed of the air, i.e. the magnitude of the velocity vector of the flow at the measuring point, is considered. Although studies show that a person is differently sensitive to airflow from front, back, side, above and below, the use of the air speed is justified because the air velocity changes its direction in a relatively small spatial angle.

Three characteristics of instruments for measuring the air velocity should be considered:

- the sensitivity to the direction of airflow;
- the sensitivity to the velocity fluctuations;
- the possibility of obtaining a mean velocity and a standard deviation of the velocity over a certain measuring period.

E.2 Accuracy of the velocity measurements

The following important factors have to be considered for accurate velocity measurements:

- a) the calibration of the instrument;
- b) the response time of the sensor and the instrument;
- c) the measuring period.

The accurate measurement of the mean velocity depends on the calibration of the instrument. The accuracy of measuring the standard deviations, i.e. the turbulence intensity, depends on the response time. An instrument with a long response time will not measure fast velocity fluctuations. Measurements in an airflow with a high turbulence intensity and low frequency of the velocity fluctuations will require a longer measuring period than measurements in an airflow with a low turbulence intensity and a high frequency of the velocity fluctuations.

E.3 Types of anemometers

As a general rule the air velocity, v_a , can be determined

- either by the use of an omnidirectional probe which is sensitive to the magnitude of the velocity whatever its direction (hot-sphere sensor);
- or by the use of three directional sensors which allow the components of the air velocity to be measured along three perpendicular axis (cosine law). If these three components are termed v_x , v_y and v_z the speed of the air, v_a , can be expressed as follows:

$$v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

In practice it is very difficult to measure accurately in one direction.

In those cases where the air flow is unidirectional, it is possible to use a probe which is sensitive to this one air direction (blade anemometer, hot-wire anemometer, etc.)

The main direction of the air flow can be discovered by carrying out smoke tests.

Examples of anemometers used for measurements in spaces are:

- a) Vane and cup anemometers (directional appliance).
- b) Hot-wire anemometer (directional appliance).
- c) Pulsed wire anemometer (insensitive to flow direction).
- d) Hot-sphere and thermistor anemometer (insensitive to flow direction).
- e) Ultrasonic anemometer (insensitive to flow direction).
- f) Laser-doppler anemometer (insensitive to flow direction).

E.4 Anemometer with a hot-sphere type sensor

E.4.1 General

The anemometer with a hot-sphere type sensor is most used in practice for velocity measurements in spaces.

E.4.2 Description and principle of operation

Like all heated sensors for measuring air velocity, the anemometer with a hot-sphere type sensor is based on the measurement of the transfer of heat between a hot solid and the ambient air, which depends on the aerodynamic characteristics of the air. Calibration of the instrument beforehand allows this transfer of heat to be converted to air velocity.

The anemometer consists of a sphere heated electrically to a temperature higher than the air temperature. The hot element loses heat to its surroundings mainly by convection.

The thermal balance of the element is expressed as follows:

$$C_p = h_c (t_c - t_a)$$

where

C_p is the heating power received by the element;

h_c is the coefficient of exchange by convection between the element and the air, as a function of the air speed;

t_c is the temperature of the element;

t_a is the air temperature.

The heating characteristics of the element, the temperature of the element and that of the air allows the air velocity to be determined through the use of the coefficient of heat transfer by convection.

The anemometer should therefore have two temperature sensors, one to measure the temperature of the hot element and another to measure the air temperature. Simplified instruments without an air temperature sensor are able to operate only at the air temperature for which they have been calibrated.

E.4.3 Precautions to be taken during use

The main characteristic of the hot-sphere type sensor is to have reduced sensitivity to the direction of the airflow except for a small solid angle around the support of the sensor (see figure E.1). However, a hot-wire anemometer has a high sensitivity to the direction of air flow (see figure E.2).

Design of the sensor should not affect the airflow. Protection around the sensor against damage may generate additional turbulence in the flow or damp the velocity fluctuations.

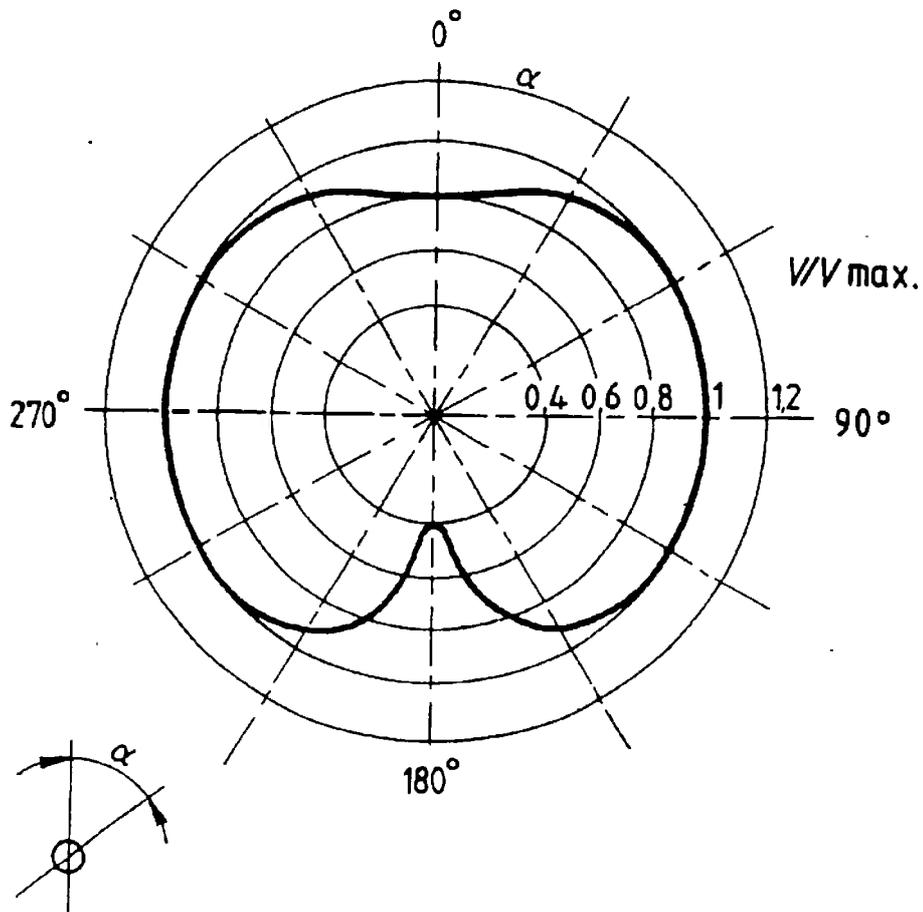


Figure E.1 — Hot-sphere anemometer — Example showing the effect of the direction of movement of the air on the measurement of the air velocity

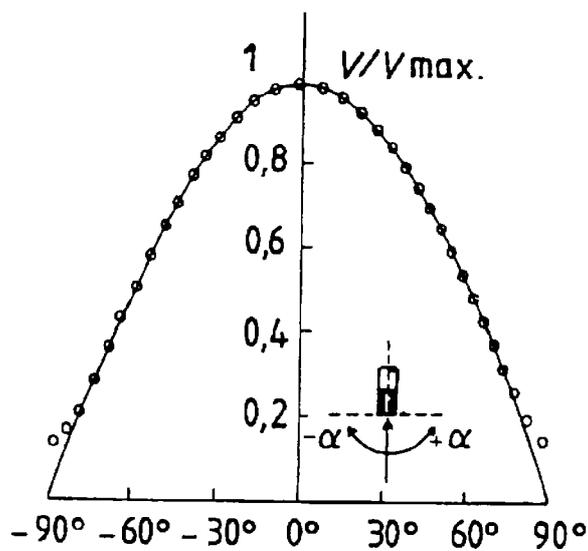


Figure E.2 — Hot-wire anemometer — Example showing the effect of the direction of movement of the air on the measurement of the air velocity

ANEXO D:

Normas Técnicas apresentadas pela Resolução - RE n.º 176,
de 24 de outubro de 2000

Norma Técnica 001

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

Método Analítico

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

DEFINIÇÕES:

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

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

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

Marcador Epidemiológico: Fungos viáveis.

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

PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DO AMOSTRADOR:

Amostrador: Impactador de 1, 2 ou 6 estágios. **Meio de Cultivo:** Agar Extrato de Malte, Agar Sabouraud Destrose a 4%, Agar Batata Dextrose ou outro, desde que cientificamente validado.

Taxa de Vazão: 25 a 35 l/min, recomendado 28,3 l/min.

Tempo de Amostragem: 10 min. Em áreas altamente contaminadas um tempo de amostragem menor pode ser recomendável.

Volume Mínimo: 140 l

Volume Máximo: 500 l **Embalagem:** Rotina de embalagem para proteção da amostra com nível de biossegurança 2 (recipiente lacrado, devidamente identificado com símbolo de risco biológico) **Transporte:** Rotina de embalagem para proteção da amostra com nível de biossegurança 2 (recipiente lacrado, devidamente identificado com símbolo de risco biológico).

Calibração: Semestral **Exatidão:** $\pm 0,02$ l/min.

Precisão: $\pm 99,92 \%$.

ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM:

Selecionar 01 amostra de ar exterior localizada nas proximidades da entrada da tomada de ar externo na altura de 1,50 m do solo.

Selecionar ao menos 01 amostra de ar interior por andar ou de cada área servida por um equipamento condicionador de ar. Para grandes áreas recomenda-se :

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

o amostrador deve estar localizado na altura de 1,50m do solo, no centro do ambiente ou em zona ocupada.

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

BIBLIOGRAFIA:"

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater".

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

NIOSH- National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), BIOAEROSOL SAMPLING (Indoor Air) 0800, Fourth Edition. IRSST Institute de Recherche en Santé et en Sécurité du Travail du Quebec, Canada, 1994.

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

Norma Técnica 002

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

Método Analítico

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

APLICABILIDADE: Ambientes interiores climatizados, de uso coletivo.

MARCADOR EPIDEMIOLÓGICO: Dióxido de carbono (CO₂).

MÉTODO DE AMOSTRAGEM: Equipamento de leitura direta.

PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DOS AMOSTRADORES:

Amostrador: Leitura Direta por meio de sensor infravermelho não dispersivo ou célula eletroquímica.

Calibração: Anual ou de acordo com especificação do fabricante.

Faixa: de 0 a 5.000 ppm.

Exatidão: ± 50 ppm + 2% do valor medido

ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM:

selecionar 01 amostra de ar exterior localizada nas proximidades da entrada da tomada de ar externo na altura de 1,50 m do solo.

selecionar ao menos 01 amostra de ar interior por andar ou de cada área servida por um equipamento condicionador de ar. Para grandes áreas recomenda-se :

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

o amostrador deve estar localizado na altura de 1,50m do solo, no centro do ambiente ou em zona ocupada.

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

Norma Técnica 003

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

Método Analítico

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

APLICABILIDADE: Ambientes interiores climatizados, de uso coletivo.

MARCADORES: Temperatura do ar (°C)

Umidade do ar (%)

Velocidade do ar (m/s) .

MÉTODO DE AMOSTRAGEM: Equipamentos de leitura direta.
Termo-higrômetro e Termo-anemômetro.

PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DOS AMOSTRADORES:

Amostrador: Leitura Direta Termo-higrômetro. Princípio de operação: Sensor de temperatura do tipo termo-resistência.

Sensor de umidade do tipo capacitivo ou por condutividade elétrica.

Calibração: Anual

Faixa: 0° C a 70° C de temperatura 5% a 95 % de umidade

Exatidão: $\pm 0,8$ ° C de temperatura $\pm 5\%$ do valor medido de umidade

Amostrador: Leitura Direta Termo-anemômetro.

Princípio de operação: Sensor de velocidade do ar do tipo fio aquecido ou fio térmico.

Calibração: Anual

Faixa: de 0 a 10 m/s

Exatidão: $\pm 0,03$ m/s $\pm 4\%$ do valor medido

Norma Técnica 004

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

Método Analítico

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

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

Marcador Epidemiológico: Poeira Total (mg/m³).

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

PERIODICIDADE: Semestral.

FICHA TÉCNICA DO AMOSTRADOR:

Amostrador: Unidade de captação constituída por filtros de PVC, diâmetro de 37 mm e porosidade de 5 mm de diâmetro de poro específico para poeira total a ser coletada; Suporte de filtro em disco de celulose; Porta-filtro em plástico transparente com diâmetro de 37 mm.

Aparelhagem: Bomba de amostragem, que mantenha ao longo do período de coleta, a vazão inicial de calibração com variação de 5%.

Taxa de Vazão: 1,0 a 3,0 l/min, recomendado 2,0 l/min.

Volume Mínimo: 50 l

Volume Máximo: 400 l

Tempo de Amostragem: 50 l em 17 min ; 400 l em 133 min

Embalagem: Rotina

Transporte:

Calibração: Em cada procedimento de coleta

Exatidão: ± 5% do valor medido

PROCEDIMENTO DE COLETA: MB-3422 da ABNT.

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DAS BOMBAS: NBR- 10.562 da ABNT

PROCEDIMENTO LABORATORIAL: NHO 17 da FUNDACENTRO

ANEXO E:

Cópia das Planilhas de Controle das Atividades de Manutenção
Obrigatória, criadas pela Portaria nº 3523 de 26 de agosto de 1998,
ANEXO I da referida portaria.

ANEXO I

PLANO DE MANUTENÇÃO, OPERAÇÃO E CONTROLE - PMOC.

1 – Identificação do Ambiente ou Conjunto de Ambientes:

Nome (Edifício/Entidade)			
Endereço completo			N.º
Complemento	Bairro	Cidade	UF
Telefone:		Fax:	

2 – Identificação do Proprietário, Locatário ou Preposto:

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

3 – Identificação do Responsável Técnico:

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

ART = Anotação de Responsabilidade Técnica

4 – Relação dos Ambientes Climatizados:

Tipo de Atividade	N.º de Ocupantes		Identificação do Ambiente ou Conjunto de Ambientes	Área Climatizada Total	Carga Térmica
	Fixos	Flutuantes			

NOTA: anexar Projeto de Instalação do sistema de climatização.

5 – Plano de Manutenção e Controle

Descrição da atividade	Periodicidade	Data de execução	Executado por	Aprovado por
a) Condicionador de Ar (do tipo "expansão direta" e "água gelada")				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão no gabinete, na moldura da serpentina e na bandeja;				
limpar as serpentinas e bandejas				
verificar a operação dos controles de vazão;				
verificar a operação de drenagem de água da bandeja;				
verificar o estado de conservação do isolamento termo-acústico ;				
verificar a vedação dos painéis de fechamento do gabinete;				
verificar a tensão das correias para evitar o escorregamento;				
lavar as bandejas e serpentinas com remoção do biofilme (lodo), sem o uso de produtos desengraxantes e corrosivos;				
limpar o gabinete do condicionador e ventiladores (carcaça e rotor).				

Descrição da atividade	Periodicidade	Data de execução	Executado por	Aprovado por
verificar os filtros de ar:				
filtros de ar (secos)				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
medir o diferencial de pressão;				
verificar e eliminar as frestas dos filtros;				
limpar (quando recuperável) ou substituir (quando descartável) o elemento filtrante.				
filtros de ar (embebidos em óleo)				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
medir o diferencial de pressão;				
verificar e eliminar as frestas dos filtros;				
lavar o filtro com produto desengraxante e inodoro;				
pulverizar com óleo (inodoro) e escorrer, mantendo uma fina película de óleo.				
b) Condicionador de Ar (do tipo "com condensador remoto" e "janela")				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão no gabinete, na moldura da serpentina e na bandeja;				
verificar a operação de drenagem de água da bandeja;				
verificar o estado de conservação do isolamento termo- acústico (se está preservado e se não contém bolor);				
verificar a vedação dos painéis de fechamento do gabinete;				
lavar as bandejas e serpentinas com remoção do biofilme (lodo), sem o uso de produtos desengraxantes e corrosivos;				
limpar o gabinete do condicionador.				
verificar os filtros de ar:				
filtros de ar				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar e eliminar as frestas dos filtros;				
limpar o elemento filtrante.				
c) Ventiladores				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar a fixação;				
verificar o ruído dos mancais;				
lubrificar os mancais;				
verificar a tensão das correias para evitar o escorregamento;				
verificar vazamentos nas ligações flexíveis;				
verificar a operação dos amortecedores de vibração;				

Descrição da atividade	Periodicidade	Data de execução	Executado por	Aprovado por
verificar a instalação dos protetores de polias e correias;				
verificar a operação dos controles de vazão;				
verificar a drenagem de água;				
limpar interna e externamente a carcaça e o rotor.				
d) Casa de Máquinas do Condicionador de Ar				
verificar e eliminar sujeira e água;				
verificar e eliminar corpos estranhos;				
verificar e eliminar as obstruções no retorno e tomada de ar externo;				
aquecedores de ar				
verificar e eliminar sujeira, dano e corrosão;				
verificar o funcionamento dos dispositivos de segurança;				
limpar a face de passagem do fluxo de ar				
umidificador de ar com tubo difusor(ver obs.1)				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar a operação da válvula de controle;				
ajustar a gaxeta da haste da válvula de controle;				
purgar a água do sistema;				
verificar o tapamento da caixa d'água de reposição;				
verificar o funcionamento dos dispositivos de segurança;				
verificar o estado das linhas de distribuição de vapor e de condensado;				
tomada de ar externo(ver obs. 2)				
verificar e eliminar sujeira, danos, e corrosão;				
verificar a fixação;				
medir o diferencial de pressão;				
medir a vazão;				
verificar e eliminar as frestas dos filtros;				
verificar o acionamento mecânico do registro de ar ("damper");				
limpar (quando recuperável) ou substituir (quando descartável) o elemento filtrante;				
registro de ar ("damper") de retorno(ver obs. 2)				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar o seu acionamento mecânico;				
medir a vazão;				

Descrição da atividade	Periodicidade	Data de execução	Executado por	Aprovado por
registro de ar ("damper") corta fogo (quando houver)				
verificar o certificado de teste;				
verificar e eliminar sujeira nos elementos de fechamento, trava e reabertura;				
verificar o funcionamento dos elementos de fechamento, trava e reabertura;				
verificar o posicionamento do indicador de condição(aberto ou fechado);				
registro de ar ("damper") de gravidade (venezianas automáticas)				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar o acionamento mecânico;				
lubrificar os mancais;				
Observações: 1. Não é recomendado o uso de umidificador de ar por aspersão que possui bacia de água no interior do duto de insuflamento ou no gabinete do condicionador. 2. É necessária a existência de registro de ar no retorno e tomada de ar externo, para garantir a correta vazão de ar no sistema.				
e) Dutos, Acessórios e Caixa Pleno para o Ar				
verificar e eliminar sujeira (interna e externa), danos e corrosão;				
verificar a vedação das portas de inspeção em operação normal;				
verificar e eliminar danos no isolamento térmico;				
verificar a vedação das conexões.				
bocas de ar para insuflamento e retorno do ar				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar a fixação;				
medir a vazão;				
dispositivos de bloqueio e balanceamento.				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão;				
verificar o funcionamento;				
f) Ambientes Climatizados				
verificar e eliminar sujeira, odores desagradáveis, fontes de ruídos, infiltrações, armazenagem de produtos químicos, fontes de radiação de calor excessivo, e fontes de geração de microorganismos;				
g) Torre de Resfriamento				
verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão ;				

Notas:

1) As práticas de manutenção acima devem ser aplicadas em conjunto com as recomendações de manutenção mecânica da NBR 13.971 - Sistemas de Refrigeração, Condicionamento de Ar e Ventilação - Manutenção Programada da ABNT, assim como aos edifícios da Administração Pública Federal o disposto no capítulo Práticas de Manutenção, Anexo 3, itens 2.6.3 e 2.6.4 da Portaria n.º 2296/97, de 23 de julho de 1997, Práticas de Projeto, Construção e Manutenção dos Edifícios Públicos Federais, do Ministério da Administração Federal e Reforma do Estado - MARE. O somatório das práticas de manutenção para garantia do ar e manutenção programada visando o bom funcionamento e desempenho térmico dos sistemas, permitirá o correto controle dos ajustes das variáveis de manutenção e controle dos poluentes dos ambientes.

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

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

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

Descrição:

ANEXO II
Classificação de filtros de ar para utilização em ambientes climatizados,
conforme
recomendação normativa 004-1995 da SBCC

Classe de filtro		Eficiência (%)
Grossos	G0	30-59
	G1	60-74
	G2	75-84
	G3	85 e acima
Finos	F1	40-69
	F2	70-89
	F3	90 e acima
Absolutos	A1	85-94,9
	A2	95-99,96
	A3	99,97 e acima

Notas:

métodos de ensaio:

Classe G: Teste gravimétrico, conforme ASHRAE* 52.1 - 1992(arrestance)

Classe F: Teste colorimétrico, conforme ASHRAE 52.1 - 1992 (dust spot)

Classe A: Teste fotométrico DOP TEST, conforme U.S. Militar Standart 282

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

Para classificação das áreas de contaminação controlada, referir-se a NBR 13700 de junho de 1996, baseada na US Federal Standard 209E de 1992.

SBCC - Sociedade Brasileira de Controle da Contaminação

Referências Bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT NBR 10151, 4p, 2000.
- _____. Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto, Rio de Janeiro, NBR 6401, 1980.
- _____. Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, ABNT NBR 10152, 1987.
- _____. Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação – Manutenção programada. Rio de Janeiro, ABNT NBR 13971, 1997
- _____. Sistema de condicionamento de ar e ventilação – Execução de serviços de higienização. 5pg. Rio de Janeiro, ABNT NBR 14679, 2001.
- AIR CONDITIONING CONTRACTORS OF AMERICA. Homepage da ACCA (disponível em < <http://www.acca.org> > acesso em 30.10.2000.
- AKUTSU, M. Método para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Brasil. São Paulo, 1998. 181p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, universidade de São Paulo.
- AKUTSU, M.; PEDROSO, N.G.; SATO, N.M.N. Desempenho térmico de edificações habitacionais escolares: manual de procedimentos para avaliação. São Paulo, IPT, 1987 (Publicação IPT 1732).
- AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Tratamento estatístico de dados climáticos para a definição dos períodos de verão e de inverno. In: Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Florianópolis, 1993.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução N° 193 de 09.06.1999, Aenxo III (publicado no D.O.U. de 06.08.1999).
- ANSI/ASHRAE - AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE/AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING

ENGINEERS. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, ANSI/ASHRAE 55, 1992.

_____. Standards for Natural and Mechanical Ventilation. Atlanta: ASHRAE 62, 1989.

ANSI/ASHRAE/IESNA - AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS / ILLUMINATION ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Energy Conservation in Existing Buildings. Atlanta, ANSI/ASHRAE/IESNA 100, 1995.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of fundamentals. New York, ASHRAE, 1989.

ASHRAE/IES - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS / ILLUMINATION ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA . Energy Efficient Design of New Buildings Except New Low-rise Residential Buildings. Atlanta, ASHRAE/IES 90.1, 1989.

APTE, M, G; FISK, W. J.; DAISEY, J. M. Indoor Carbon Dioxide Concentrations and SBS In Office Workers In Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000.

ASTM – American Society for Testing Materials. Standard Guide for Selecting Economic Methods for Evaluating Investments in Buildings and Building Systems, ASTM E 1185, 1993.

ASTM – American Society for Testing Materials. Standard Practise for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems, ASTM E 917, 1994.

BEYER, P. O. Cálculo da Necessidade Fisiológica Mínima do Ar de Respiração baseado na Concentração de CO₂. Revista Mercofrio, ano 1, n. 1 Porto Alegre, Brasil, 2000, p. 16-17.

- BIRDSALL, B. E. et. al. DOE-2 BASICS, Califórnia, EUA, Lawrence Berkeley Laboratory, 1994.
- BOERSTRA, A; RAUE, A; de WIT, S van der LINDEN, K. Thermal Comfort In Real Live Buildings: Developing A Practical Design And Performance Criterion, in Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000, p 575 – 588.
- BRE – Building Research Establishment. An environmental assessment of new commercial buildings. BREEAM 1/91 – Building Research Establishment Report, Watford, 1991.
- _____. Building Research Establishment. An environmental assessment for new superstores and supermarkets. BREEAM 2/91 – Building Research Establishment Report, Watford, 1991.
- _____. Building Research Establishment. An environmental assessment for new homes. BREEAM 3/91 – Building Research Establishment Report, Watford, 1991.
- CABO - COUNCIL OF AMERICAN BUILDING OFFICIALS. Model Energy Code, Falls Church, Virginia, USA, 1995.
- CETESB – homepage da CETESB/SP.(disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/prozon/prozon.htm>> acesso em 20.09.2000)
- CIB – Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Etude et la Documentation. CIB Coordinators' Trend Reports – An Anthology of Future Perspectives. CIB Report Publication 211. The Netherlands, 1997.
- CLEMENTS-CROOME, D.; BAIZHAN, L. Productivity And Indoor Environment. In Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000, p 629 - 634
- COCHRAN, W. G. Sampling Techniques, John Wiley & Sons, Inc, 428 p., New York, 1977.
- CONAMA. Resolução n.º03 de 28/06 / 1990.

- CONAMA. Resolução nº 08 de 06/12/1990 (disponível em <http://www.polmil.sp.gov.br/unidades/cpfm/lexq14.htm> > acesso em 30.10.2000.
- CONTE, E. FATO, I Thermal Comfort In Mixed Mode Buildings In Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000, p 545 – 550
- CONTE, E; FATO, I. Thermal Comfort In Mixed Mode Buildings. In **Proceedings** of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000, p 581 – 586.
- COSTA NETO, P. O. Estatística. 268p. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.
- DIAMOND et alii. User-effect validation tests of the DOE-2 building energy analysis computer program. ASHRAE Transactions, Vol. (91): 712-24, 1985 (paper no.HI-85-13 no. 13).
- DOE – US Department of Energy. Building standards and guidelines program – MEC Check Manual – 1995 Model energy code compliance guide. DOE, USA, 1995.
- DOE – US Department of Energy. Building standards and guidelines program – COM Check Manual – Commercial and high-rise residential energy code compliance. DOE, USA, 1997.
- ELETRICIDADE MODERNA. São Paulo, nº 304, Julho de 1999.
- ELETRICIDADE MODERNA. São Paulo, nº 316, Julho de 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- EPA homepage – disponível em < <http://www.epa.gov>> acesso em 20.10.2000.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Thermal performamnce of buildings – calculation of energy use for heating – residential buildings, 54p. PR-EN 832, Bruxells, 1992)
- ESRU. Energy Simulation Research Unit – ESP-r: A program for building energy simulation – Version 8 Series – ESRU Manual U93/1. Glasgow, 1993.
- FACILITY. O ar no ambiente de trabalho. São Paulo, ano 1 n. 1, 1997, p. 26-30.

- FANGER, P. O. Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering, 245 p. New York, McGraw-Hill, 1972.
- FISK, W. J.; Review Of Health And Productivity Gains From Better IEQ; in Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, 2000, p 23 - 34
- IBAMA. Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90. Homepage do IBAMA (disponível em < <http://www.ibama.gov.br> > acesso em 20.09.2000.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO SA, Avaliação da Segurança Contra Incêndio em Edifícios de Escritórios -Relatório Final, , IPT. (Relatório Técnico 49.0540), São Paulo, SP, 2000.
- _____. Critérios mínimos de desempenho de habitações térreas unifamiliares – Anexo 5: Conforto térmico. (Relatório Técnico No 33.800), São Paulo, 1995.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgements scales, 1995 (ISO 10551-1995).
- _____. Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble, 1995 (ISO 9920-1995).
- _____. Ergonomics of the thermal environment – Principles and application of relevant International Standard, 1995 (ISO 11399-1995).
- _____. Evaluation of cold environments – Determination of required clothing insulation (IREQ), 1993. (ISO/TR 11079 - 1993).
- _____. Evaluation of thermal strain by physiological measurements, 1992 (ISO 9886-1992).
- _____. Hot environments – Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate, 1989 (ISO 7933-1989).

_____. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1984. (ISO 7730 - 1984).

_____. Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities. (ISO 7726 - 1985)

JABARDO, J.M.S. Publicação da Eternit. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de energia nas Edificações. São Paulo, EPUSP-Civil, 1984.

JICA – Japan International Cooperation Agency – Textbook for the group training course in building engineering. Tokyo, JICA, 1992.

JURAN, J. M. Juran's Quality Control Handbook. 4ª Ed., McGraw-Hill, New York, 1988.

LAWSON, C. N. Ventilation – Where it cam from, where it is, and where it is going. ASHRAE Transactions: Symposia, 1994, p. 528-529.

LEWIS, R. H. Heating and air-conditioning systems – A historical overview and evolution. ASHRAE Transactions: Symposia, 1994, p. 525-527.

M.E.L.L.A.T. Seminaire D'Information et de Sensibilisation des Architectes Au Deglement Thermique de 1989, France, Mars 1988.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Homepage sobre Protocolo de Quioto (disponível em http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocol.htm#Anexo_A > acesso em 20.09.2000).

MINISTÉRIO DA SAÚDE – Portaria Nº 3523 de 26/08/1998.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RE Nº176 de 24/10/2000.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Homepage do Ministério. (disponível em <<http://www.mme.gov.br> > acesso em 20.09.2000.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. Norma Regulamentadora 17.

- OHFUJI, T. et al. Método de desdobramento da qualidade; Tradução de Zelinda Tomie Fujikawa. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 257p.,1997.
- OLESEN B. W New Developments In International Standards For The Indoor Thermal Environment. In Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland, 2000, p 545 – 550.
- ORNSTEIN, S.W.; ROMERO, M. (colaborador). Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído. 224p. São Paulo, Studio Nobel, EDUSP, 1992.
- ROBERTSON, D. K. e CHRISTIAN, J. E. Comparisons of four computer models with experimental data from test buildings in Northern New Mexico. ASHRAE Transactions, Vol. (91): 591-607, 1985 (paper no. HI-85-11 no. 1).
- SHAVIT, G. The evolution of control during the past 100 years. ASHRAE Transactions: Symposia, 1994, p. 538-544.
- SORREL, F. Y. et alii. Validation of hourly building energy models for residential buildings. ASHRAE Transactions, Vol. (91): 701-11, 1985 (paper no.HI-85-13 no. 2).
- TAGUCHI, G. Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção; tradução de R.C. Lovery, 235 p., Rio de Janeiro, Ed. Campos, 1994.
- TAKASHIMA, N. T.; FLORES, M. C. X. – Indicadores da Qualidade e do Desempenho, Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1996.
- THE HEALTHY BUILDING 2000; Espoo, Finland, 2000. Proceedings in CD-ROM.
- USACERL – United States Army Construction Engineering Research Laboratory – Manual de utilização do programa BLAST, Urbana, Universidade de Illinois – EUA, 1993.
- VITTORINO, F. Estudo teórico-experimental de método de cálculo para a determinação de cargas térmicas, da temperatura e da umidade do ar de ambientes condicionados. São Paulo, 1994. (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP).
- WARGOCKI, P; WYON, D. P; FANGER, P. O; Productivity Is Affected By The Air Quality In Offices In Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finlândia, 2000, p 629 – 634.

YUILL, G. Verification of the BLAST Computer program for two houses.
ASHRAE Transactions, Vol (91): 687-700, 1985 (paper n° HI-85-13 n°1

Bibliografia

- AKUTSU, M. e LOPES, D. Simulação do desempenho térmico de edificações. A Construção São Paulo. nº 1897, 18/06/84.
- AKUTSU, M. e SATO, N.M.N. Propriedades termofísicas de materiais e componentes de construção. A Construção São Paulo. nº 2067, 21/09/87.
- AKUTSU, M. e VITTORINO, F. A importância do projeto arquitetônico no desempenho térmico das edificações A Construção São Paulo. nº 2284, 18/11/91.
- AKUTSU, M. e VITTORINO, F. Aplicação de Isolante Térmico em Edificações: Efeito no Conforto Térmico e nas Cargas Térmicas de Condicionamento de Ambientes. In: I ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO AMBIENTAL, Gramado - RS, 1990. Anais do I Encontro Nacional de Conforto Ambiental. Gramado, 1990.
- AKUTSU, M. e VITTORINO, F. Cargas térmicas em edificações: métodos de cálculo e a influência do projeto arquitetônico. In: A Construção São Paulo. encarte nº 148, 09/89.
- AKUTSU, M. e VITTORINO, F. Isolação Térmica, Ventilação. In: Associação Brasileira da Construção Industrializada (ABCI). Manual Técnico de Caixilhos e janelas: aço, alumínio, vidros, PVC, madeira, acessórios, juntas e materiais de vedação. São Paulo, Ed. Pini, 1991.
- AKUTSU, M. Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de revisão normativa. A Construção São Paulo. nº 1989, 24/03/86.
- AKUTSU, M. Recursos para previsão do desempenho térmico de uma edificação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NAS EDIFICAÇÕES, São Paulo, 1989. Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989.

- AKUTSU, M.; SATO, N. M. N. Análise comparativa do comportamento térmico de alguns tipos de edificações convencionais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO/RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo, 1981, Anais do Simpósio Latino-Americano/Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social - V.II - 1981.
- ALUCCI, M.P.; CARNEIRO, C.M.; BARING, J.G.A. Implantação de conjuntos habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica. São Paulo, 1986. Publicação IPT nº 1729.
- ALUCCI, M; AKUTSU, M.; CARNEIRO, C M. Geometria dos ambientes: um dos fatores determinantes no desempenho térmico das edificações. A Construção São Paulo. nº 1971, 18/11/85.
- AROSZTEGUI, J. M. Método para projeto e Avaliação de Para-sois externos visando a otimização do seu desempenho térmico para um clima dado. Porto Alegre. UFRGS. 63p. (publicação CT-17), 1980.
- BARING, J. G. A. Contribuições para a Correta Solução Acústica de Edifícios - Dissertação de Mestrado - FAUUSP, São Paulo.
- BARING, J. G. A. Desempenho Acústico de Caixilho de Fachada no Contexto do Controle da Poluição Sonora Urbana - Tese de Doutorado.
- BAUMAN., F. et al. Convective Heat Transfer in Buildings: Recent Research Results, New York, ASHRAE Transactions, vol 89 part I, 1983.
- BECHTEL, R. B.; MARANS, R.; MICHELSON, E. (Eds.). Methods in Environmental and Behavioral Research. New York, Van Nostrand Reinhold, 1987.
- BELL, P. A. et Al. Environmental Psychology. Fort Worth, Texas, Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1990.
- BRISKEN, W.R. and REQUE, S.V. Heat loads calculation by thermal response. ASHRAE Transactions vol.62, 1956.

- BRUNA, G. C.; ORNSTEIN, S. W. Revitalização Comercial ou Renovação do Ambiente Construído? In: Sinopses 14. São Paulo, FAUUSP, dez. 1990 p. 34-42.
- BURNS, W. Noise and Man. William Clowes & Sons Ltd., London, 1973.
- CALABI, A.S. et alli. A energia e a economia brasileira. São Paulo, FIPE/Pioneira. 1983, 249p.
- CREMONESI, José Fernando. Laboratório de Acústica do IPT - in "Tecnologia de Edificações" - Ed. PINI São Paulo, 1988.
- DA MOTTA, C. F. A. & DEL CARLO, U. Nível de Satisfação em Conjunto Habitacional da Grande São Paulo. IPT, 1975.
- DEL CARLO, U. Acústica dos Escritórios Panorâmicos. São Paulo, SP, 1972. 1v. Tese (doutorado) FAUUSP.
- DEL CARLO, U.; ORNSTEIN, S. W. Avaliação do Edifício e da Cidade: Medos e Mitos. In: Sinopses 14. São Paulo, FAUUSP, 1990 p. 5-12.
- ENERGY TECHNOLOGY REVIEW N.41. Passive Solar Energy Design and Materials. Noyes Data Corp., New Jersey, 1979, 385 p.
- GOLDEMBERG, J. et alli. Energy for a sustainable world. New Delhi, Wiley Eastern Limited, 1988.
- GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras. Núcleo de Pesquisa em Construção. ECV – CTC – UFSC, Florianópolis, SC, 1997.
- GROFF, G. C. Partial load HVAC equipment requirements. ASHRAE JOURNAL, s l p, p. 40 - 44, Nov. 1987.
- GUIMARÃES, G. D. Análise Energética na Construção de Habitações. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 1985, 228p. Dissertação de Mestrado.
- HANNA, G.B. Development of models to stimate the temperature response of an enclosure. Liverpool, The University of Lliverpool - Departament of Building Engineering, April, 1974.

- HARRYS, C. M. Handbook of Noise Control. McGraw-Hill, New York, 1979.
- HILL, P.R. A method of computing the transient temperature of thick walls from arbitrary variation of adiabatic-wall temperature and heat transfer coefficient. Nat. Advisory Committee for Aeronautics, Tech. Note 4105, 1957.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares - V.4: Conforto higrotérmico. (Relatório Técnico No 16.277), São Paulo, 1982.
- IZARD, Jean-Louis. Architecture d'Été - Construire pour le Confort d'Été. França, Edisud, 142 p., 1993.
- JABARDO, J.M.S. Evolução dos equipamentos de ar condicionado visando a conservação de energia. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de energia nas Edificações. São Paulo, EPUSP-Civil, 1989.
- KINSLER, L. E. & FREY, A. R. Fundamentals of Acoustics. John Wiley & Sons, New York, 1962.
- KUSUDA, T. Fundamentals of building heat transfer. Washington D.C., Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol.82, nº 2, 1977.
- KUSUDA, T. Thermal response factors for multilayer structures of various heat conduction systems. New York, ASHRAE Transactions, Parte 1, 1969.
- LANDSBERG, H. E. The Urban Climate. Academic Press, New York, 1981.
- LOMARDO, L. L. B. Comparação da eficiência energética predial - Metodologia e estudo de caso. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo, EPUSP - Civil, 1989.
- MARCUS, Clare C.; FRANCIS, Carolyn (editors). People Places - Design Guidelines for Urban Open Space. New York, Van Nostrand Reinhold, 1990.
- OGURA, M; AKUTSU, M. LOPES, D. Análise da influência das janelas no desempenho térmico da edificação. In: SIMPÓSIO LATINO-

AMERICANO/ RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, São Paulo, 1981, Anais do Simpósio Latino-Americano/ Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social - V.II - 1981.

PEAVY, B.A. Determination and verification of thermal response factor for thermal conduction application. Washington D.C., NBSIR 77-1405, 1978.

PEREIRA, J.C.R. Análise de dados qualitativos: Estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais. 156P. São Paulo, EDUSP, 1999.

PRADO, R.T.A. Efeito de sombreamento automático no desempenho energético de sistemas prediais. Tese (Doutorado), EPUSP, 1996.

PREISER, W. F. E. (editor). Building Evaluation. New York, Plenum Press, 1989.

PREISER, W. F. E.; VISCHER, J. C.; WHITE, E. (editors). Design Intervention - Toward a More Humane Architecture. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

ROMERO, M. A. Método de Avaliação do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Campi Universitários: O Caso da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira. São Paulo, 1992. (Tese de Doutorado apresentada à FAUUSP).

SCARAZZATO, P. S. O conceito de dia típico de projeto aplicado à iluminação natural – Tese de doutorado, FAUUSP, São Paulo, 1995.

SERRA, G.G. Conservação de energia e forma arquitetônica. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo, EPUSP - Civil, 1989.

SHERMAN, M.H., SONDEREGGER, R.C. e ADAMS, J.W. - The determination of the dynamic performance of walls (ASHRAE Transactions, 1982, Vol. 1, p. 689-712).

- SILVA, A. C.S.B.; SATTLER, M. A.; LAMBERTS, R. Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação. In: Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, julho, 1995.
- STEPHENSON, D.G. and MITALAS, G.P. Cooling Load calculations by thermal response factor method. New York, ASHRAE TRANSACTIONS, vol. 73, Part I, 1967.
- VAN STRAATEN, J. F. & WENTZEL, J. D. – The Prediction of the Thermal Performance of Buildings by a Simplified Empirical Procedure. National Building Research Institute, Pretoria, 1981.
- WALTON, G.N., A New Algorithm for Radiant Interchange in Room Loads Calculations, New York, ASHRAE Transactions, 1980, parte 2, p190-208.
- WALTON, G.N., SOWELL, E. F. - Efficient Computation of Zone Loads, New York, ASHRAE Transactions, 1980, parte 1, p49-72.
- YANNAS, S. Designing for summer comfort: heat gain control and passive cooling of buildings. Vol.1 – Design principles and guidelines. European Commission PASCOOL Project. London: Joule II R & D Programme, 1995.

APÊNDICE I:

Cópia de artigo ilustrando o uso de softwares de simulação do desempenho energético de instalações de condicionamento de ar

THE EFFECTS OF INDOOR CONDITIONS ON THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN COMMERCIAL BUILDINGS IN RIO DE JANEIRO

Alberto Hernandez Neto (1); Arlindo Tribess (1); Fúlvio Vittorino (2) and Maria Akutsu (2)

(1) Escola Politécnica da USP - São Paulo - 05508-900 - Brazil

(2) Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo - 05508-901 - Brazil

ABSTRACT

Most of the Brazilian population is concentrated in the shore region in cities like Rio de Janeiro. In this town, there is a large number of mechanically conditioned buildings with no possibility of use of natural ventilation for passive air conditioning. Due to the diversified cooling load profile, the use of detailed software simulation is essential.

This paper presents the cooling load and energy consumption simulation results for a commercial building using the softwares BLAST and NBSLD. The indoor conditions are changed to analyze the thermal comfort impact and energy reduction. It is also presented considerations about the adequacy of the simulation models to the Brazilian conditions

INTRODUCTION

The use of detailed simulation software for cooling load and energy consumption calculations in buildings has been growing in Brazil (Neto, 1997). This follows a common trend in USA, which is also becoming more and more usual in Europe.

High temperature daily ranges, high relative humidities and intense solar radiation characterize most of Brazilian climate conditions. Besides, the occupancy schedule is quite variable, imposing different thermal indoor environmental dynamics. Therefore, a reliable energy consumption/cooling load evaluation becomes very difficult without using detailed simulation softwares. Over and above that, the use of more simple calculation methods do not take into account properly the transient conduction heat transfer in opaque materials and radiant heat transfer between internal surfaces.

In this paper the application of such softwares is shown in a case study for a building in the coastal region. Most of the Brazilian population is concentrated on this region in cities like Rio de Janeiro, which is among the 10 biggest cities in the planet.

This town has a large number of mechanically conditioned commercial buildings because of severe

summer conditions (high temperature and humidity). Rio de Janeiro also has a big urban density that does not allow the use of sea winds and natural ventilation for passive thermal conditioning.

Such buildings are large energy consumers due to the fact that their air conditioning systems are designed for low indoor temperature and humidity, generating high gradients between the buildings interior and exterior.

In the years to come, Brazil will face a lack of electrical energy because of an exhaustion of the water resources with technical and economical potential. Studies (EPUSP, 1989, NUTAU'96, 1996) show that, if more effective actions will not be taken to decrease the energy demand, Brazil will have a severe crisis on the electrical sector.

This study presents how detailed simulation can be used to evaluate the potential reduction in energy consumption in air conditioning systems. This is achieved by simulating the thermal behavior of the conditioned building. The chosen air conditioning system is simple, without special sub-systems or devices. Changes are made in the indoor conditions along the year in order to get it as close as possible to the external conditions, but always in accordance of the requirements of ISO 7730 standard (ISO, 1994).

SOFTWARES DESCRIPTION

Two softwares were used in this paper: BLAST (Pedersen, 1993) and NBSLD (Kusuda, 1976). They were selected due to their reliability in evaluating the dynamic thermal behavior in buildings as well as their possibility of simulating different systems of central air conditioning.

The first one was developed by the U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory (USACERL) under the sponsorship of the Department of the Air Force, Air Force Engineering and Services Center (AFESC) and the Department of the Army, Office of the Chief of Engineers (OCE). It is divided into three main parts: cooling/heating loads evaluation, fan systems/central plants simulation,

Table 1. Layer thickness and material properties.

External walls					
Layer	Material	Thickness [mm]	Specific heat [J/(kg.°C)]	Thermal conductivity [W/(m ² .°C)]	Density [kg/m ³]
1(external)	granite	10	740	3,5	2700
2	mortar	20	780	0,8	1790
3	concrete	140	750	1,5	2250
4(internal)	gypsum	10	1090	0,5	1300
Roof and floor					
1	concrete	140	750	1,5	2250
Fenestration					
1	blue glass	6	Shading coefficient=0,6		

SYSTEM DESCRIPTION

In order to focus on energy analysis, with indoor conditions changes, a simple air cooling system was chosen (Fig. 2).

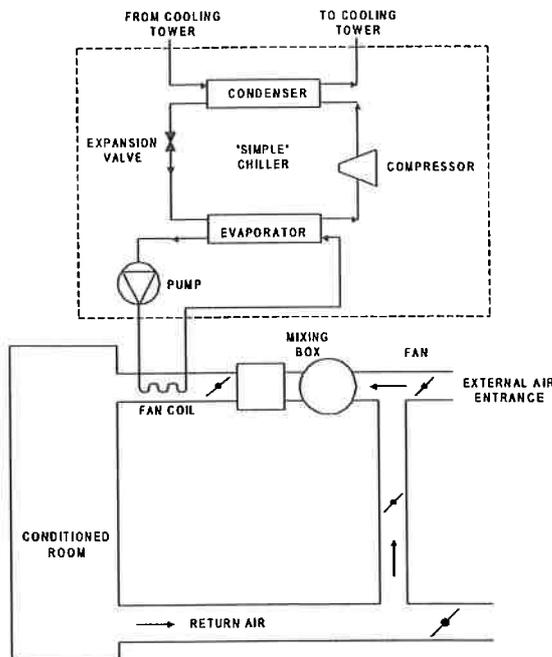


Figure 2. Cooling system diagram.

The following internal heat gains, per floor, were assumed with a fixed schedule (8:00 to 18:00):

- People: 100 persons (130 W per person).
- Equipment: 100 personal computers (100 W each).
- Lights: 20 W/m².

The following sets of indoor conditions and mechanical ventilation were established:

- Indoor air temperatures: 22, 24, 26 and 28 °C.
- Relative humidity: 50 and 60 %.
- External air mass flow rate: 1 m³/s.

The external air flow rate is determined based on ASHRAE 62-1989 standard (ASHRAE, 1989) and 1 m³/s is the minimum value specified to assure health conditions in this office.

The indoor air temperature and relative humidity were selected based on analysis of the "predicted percentage of dissatisfied" (PPD), according to the method presented in the ISO 7730 standard for metabolic rates and typical clothing for offices (70 W/m², CLO=0,5, respectively) with maximum air velocity of 0,3 m/s. Fig. 3 presents a plot of PPD as function of dry bulb temperature and the relative humidity.

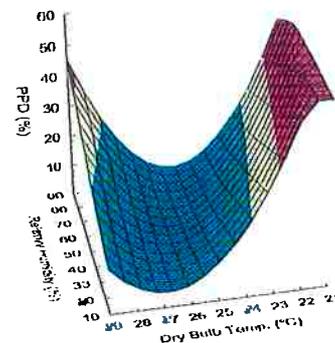


Figure 3. PPD as function of dry bulb temperature and relative humidity.

According to this, air temperatures equal to 22 and 28 °C are out of the thermal comfort zone for a minimum of 20 % PPD. Even though, for relative humidity less than 80%, the temperature of 28° C is still within the comfort zone.

For each indoor condition, a chiller/fan coil unit was simulated to provide the summer/winter peak cooling load using BLAST. Based on these simulations, energy consumption of the chiller unit and fan

system was evaluated. A thermal comfort evaluation was also performed in order to analyze the effect of changes on indoor conditions in the occupants.

WEATHER DATA

The use of softwares that performs annual calculations such BLAST is still in the beginning in Brazil. The use of reliable annual weather files is important for more refined air conditioning systems energy consumption analysis. However, in Brazil, the climate files are sometimes neither available nor up-to-date. Therefore, in our studies, climate conditions for a typical summer and winter day were established and are shown in Tab. 2.

Table 2. Summer and winter weather data.

Parameter	Summer	Winter
Maximum air temperature [°C]	35,1	22,1
Minimum air temperature [°C]	29,7	15,8
Humidity ratio[kg/kg]	0,0168	0,0168
Total daily solar radiation in horizontal surface [Wh/m2]	5722	4030

RESULTS AND DISCUSSION

NBSLD was used to calculate the cooling load profile due to the fact that BLAST does not calculate dehumidification cooling load, which eliminates the latent cooling coil load profile in the simulation.

For the "simple" chiller simulation, the cooling coil demand and the energy consumption profiles were evaluated, for the summer and winter typical weather conditions, using BLAST.

The obtained internal and external temperature profiles for summer and winter conditions are shown in Fig. 4 and 5.

For the "simple" chiller, based on the product availability of this item in Brazil, its capacity was established as shown in the following table:

Table 3. Chiller capacity / number for the maximum cooling load.

Indoor dry bulb air temperature [°C]	Capacity [TR]	Number of chillers
22	180	5
24	200	4
26	180	4
28	200	3
	70	1

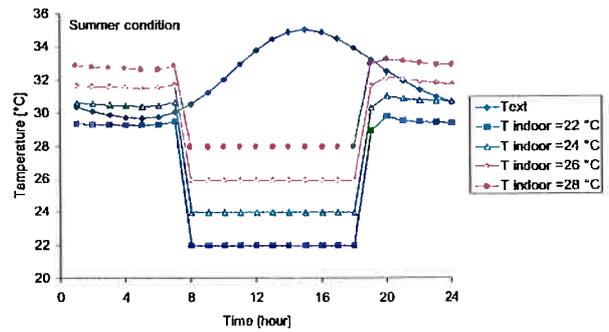


Figure 4. Internal and external temperature profiles (summer condition).

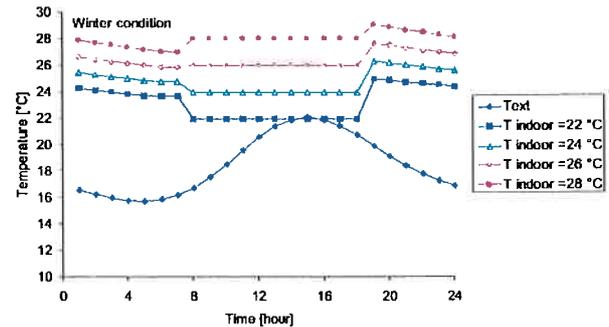


Figure 5. Internal and external temperature profiles (winter condition)

Using these data, the following equation was proposed to calculate the annual chiller/fan energy consumption:

$$AECC = (4.ECC_{winter} + 8.ECC_{summer}) \cdot 21 [\text{day/month}] \quad (1)$$

where:

AECC = annual energy chiller consumption, [MWh];
ECC = daily chiller energy consumption, [MWh]

A summary of the obtained results are shown in Tab. 4 and 5. In the Fig. 6 one can observe the relation between AECC and PPD as a function of indoor dry bulb air temperature.

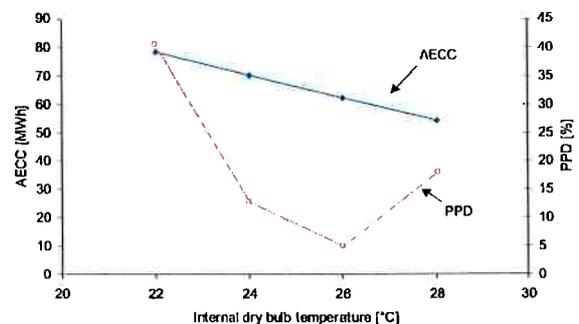


Figure 6. AECC and PPD profiles ($\phi = 60\%$)

Table 4. Overall energy parameters for 50% humidity ratio internal condition for each floor.

DBT [°C]	Season	w_{indoor} [kg/kg]	RCL [kWh]	CCL [kWh]	ECC [kWh]	COP [-]	AECC [MWh]
22	Summer	0,0082	1243	1705	373	4,6	78,5
	Winter		700	968	189	5,1	
24	Summer	0,0093	1168	1540	337	4,6	70,1
	Winter		617	810	162	5,1	
26	Summer	0,0105	1079	1386	303	4,6	62,4
	Winter		531	673	138	4,9	
28	Summer	0,0118	993	1221	265	4,6	54,2
	Winter		418	518	116	4,5	

Table 5. Overall energy parameters for 60% humidity ratio internal condition for each floor.

DBT [°C]	Season	w_{indoor} [kg/kg]	RCL [kWh]	CCL [kWh]	ECC [kWh]	COP [-]	AECC [MWh]
22	Summer	0,0099	1172	1639	355	4,6	74,8
	Winter		646	906	179	5,1	
24	Summer	0,0112	1084	1463	318	4,6	66,3
	Winter		556	755	153	4,9	
26	Summer	0,0126	989	1298	279	4,6	57,7
	Winter		464	594	128	4,7	
28	Summer	0,0143	898	1133	243	4,7	49,7
	Winter		375	426	106	4,0	

Table legend: RCL = seasonal room cooling load CCL = seasonal cooling coil load
 COP = coefficient of performance DBT = indoor dry bulb air temperature
 w_{indoor} = indoor humidity ratio

CONCLUSIONS

For Brazilian conditions, the need for using detailed simulation software is outlined in this paper. This is specially important due to the existence of diversified climate conditions profiles and the variety of air conditioning systems. For the latter, it is important to combine cooling and dehumidification processes keeping in mind, as a boundary condition, a low energy consumption requirement.

In such way, the simulation performed by NBSLD allows to evaluate the effect of changes on the indoor conditions in cooling load profiles. The confidence in these results come from an extensively validation process for Brazilian climate conditions and materials. BLAST also went through a similar process performed by previous researches in USA for both cooling load calculation and air conditioning systems simulation. This is a good indication that the results that comes from BLAST might be applicable to Brazilian conditions. One should bare in mind that the dehumidification process is not properly simulated and it has to be considered separately.

For the cooling system analysis, the use of detailed software such as BLAST allows to analyze the dynamic behavior of this system affected by different

control strategies.

The results show that, even by not simulating sophisticated air conditioning systems, these softwares allow to evaluate in quick and reliable way energy consumption reductions in commercial buildings

Different indoor conditions analysis shows significant reduction in the energy consumption and also in the initial equipment cost.

If we consider a change of set point of the indoor air temperature from 22°C/50% (usual design indoor condition in Brazil) to 28°C/60%, it can be verified reductions of annual energy consumption of approximately 34%. Besides, for the same change, reductions of in the central plants are about 26%.

The value of 28 °C is a limit that might not be considered as a fully comfortable situation for most of the occupants. Therefore, based on Tab. 2, 3 and 4, a value of 26 °C for the air temperature is more widely acceptable for most of the occupants. Reduction on the energy consumption of 21% is achieved in respect of the 22 °C air temperature condition. It should also be pointed out that a

reduction on the central plant of 25% for these same condition change.

REFERENCES

Akutsu, M. e Vittorino, F., The effects of insulating a building on thermal comfort conditions and cooling loads, International CIB W67, Roterdã, 1990.

Akutsu, M.; Vittorino, F. e Martins, J. M. V., Comparative Study of the softwares NBSLD and DOE-2 (in Portuguese). Proceedings of NUTAU'96 - Technology-Architecture-Urbanism - International Seminar, São Paulo, 1996.

ASHRAE. Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, 26 pages, 1989.

EPUSP. Conservation of energy in buildings (in Portuguese). Proceedings of the National Meeting of Conservation of Energy in Buildings, June, São Paulo, 1989.

International Organization for Standardization. ISO 7730. Moderate thermal environment - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. 27 pages, 1994.

Kusuda, T. NBSLD, the computer program for heating and cooling loads in buildings. Washington, DC, National Bureau of Standards, (Building Science Series 69) 1976.

Neto, A.H.; Vittorino, F., Tribess, A.; Peçanha, M. Aspects on energy conservation in conditioned rooms (in Portuguese). Proceedings of IV National Meeting on Comfort for Buildings, Vol. 1, pp. 413-417, November, 1997.

NUTAU'96. Conservation of energy in buildings (in Portuguese). Proceedings of the International Meeting of Conservation of Energy in Buildings, June, São Paulo, 1996.

Pedersen, C. O. et alii, BLAST - Building Load Analysis and System Thermodynamics, University of Illinois, Champaign - Urbana, EUA, 1993.

NOMENCLATURE

DBT	indoor dry bulb air temperature	[°C]
w_{indoor}	indoor humidity ratio	[kg/kg]
RCL	seasonal room cooling load	[kWh]
CCL	seasonal cooling coil load	[kWh]
ECC	seasonal chiller energy consumption	[kWh]
COP	coefficient of performance	[-]
AECC	annual chiller energy consumption	[MWh]