

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PPGMEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Curso de Especialização em Condicionamento de Ambientes e
Refrigeração



Discussão e Análise Crítica da Norma ABNT NBR16401-1/2008
“Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários
Parte 1: Projetos das instalações”.

Autor: Antônio Carlos Silveira Ruas

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nicolau Nassar Koury

Agosto de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PPGMEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Curso de Especialização em Condicionamento de Ambientes e
Refrigeração



Discussão e Análise Crítica da Norma ABNT NBR16401-1/2008
“Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários
Parte 1: Projetos das instalações”.

Antônio Carlos Silveira Ruas

Agosto de 2011

Agradecimentos

À esposa e aos meus filhos por todo seu amor e por terem suportado as horas de ausência.

Aos meus pais pelo apoio incondicional e constante.

Ao professor Ricardo Koury, meu professor orientador pelos conselhos valiosos sem os quais seria impossível a conclusão desse trabalho.

Aos professores e colegas do curso de especialização em condicionamento de ambientes e refrigeração.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Desde o início dos tempos e a cada avanço tecnológico obtido pela humanidade, o homem busca empregar o conhecimento adquirido para tornar o ambiente a sua volta mais confortável. Com edificações cada vez maiores e de difícil penetração do ar externo promovendo ventilação natural, e com grandes áreas envidraçadas, o uso de sistemas de climatização fica praticamente obrigatório. Neste trabalho é apresentada uma discussão e análise crítica da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR16401-1/2008 “Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações”. Na revisão bibliográfica são apresentados e destacados cada item que deve ser observado no projeto de instalações de climatização. A norma é discutida com base na referência bibliográfica e na publicação *ASHRAE Handbook – Fundamentals (ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)* que é uma das mais importantes senão a mais importante referência mundial no campo dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Na referência bibliográfica nota-se uma preocupação com a precisão do cálculo da carga térmica, tendo reflexo tanto na redução do consumo de energia como na economia com a execução da obra evitando o desperdício de recursos e equipamentos. Ao se analisar a norma brasileira e a bibliografia usada como referência, fica evidente a preocupação com o dimensionamento correto do sistema de climatização, visando não apenas o consumo correto e consciente de energia elétrica e recursos bem como o conforto e o bem estar dos usuários do sistema. Essa precisão no dimensionamento do sistema de ar condicionado só possível através do uso de softwares no caso de sistema maiores, uma vez que os métodos de cálculo estão cada vez mais refinados. A norma evoluiu em diversos pontos como parâmetros claros para qualidade do ar, condições de conforto mais atualizadas, por exemplo, mas necessita aprimoramento em áreas como informações acerca de dados climáticos para mais cidades.

ABSTRACT

Since the beginning of time and improved by every technological advance achieved by mankind, human being seeks to employ the acquired knowledge to make the environment around itself more comfortable. With buildings becoming bigger and bigger and difficult to penetrate the outside air to promote natural ventilation, and with large glass areas, the use of HVAC systems is practically mandatory. This work presents a discussion and critical analysis of the standard of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) NBR 16401-1/2008 "Facilities Air-conditioning - central and unitary systems Part 1: Design of the facilities." In the literature review are presented and highlighted each item that must be observed in the design of air conditioning systems. The standard is discussed based on the bibliographic reference and publication *ASHRAE Handbook – Fundamentals* (ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) which is one of the most important if not the most important world reference in the field of heating, ventilation and air conditioning. In the reference notes a concern about the accuracy of the calculation of heat load, and reflects both the reduction of energy consumption in the economy with the execution of work avoiding the waste of resources and equipment. When analyzing the Brazilian standard and bibliography used as a reference, it is evident concern for the correct sizing of the HVAC system, aimed not only the correct and conscious use of energy and resources as well as the comfort and welfare of system users. This precision sizing of the air conditioning is only possible through the use of software in the case of larger system, since the calculation methods have become increasingly refined. The standard has evolved in several points as clear benchmarks for air quality, most current comfort conditions, for example, but needs improvement in areas such as information about weather data for more cities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Relação geométrica Terra-Sol no verão e no inverno: No verão a radiação solar que passa pela atmosfera percorre uma distância menor com uma altitude do sol maior. (Jones W. P., 2001).....	10
Ilustração 2 – Variação de temperatura no dia 17 de julho de 1967 em Wethersfield, Essex. (Jones W. P., 2001)	12
Ilustração 3 – Os impactos das Áreas Envidraçadas no Conforto Térmico (<i>ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001</i>).	15
Ilustração 4 – Desenho esquemático de uma rede de dutos (<i>ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001</i>).	26

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Variação de temperatura ao longo do dia.....	12
Equação 2: Variação de temperatura ao longo do dia (NBR 16401-1/2008).	13
Equação 3: Método da Igual Perda de Pressão (Carrier Corporation 1960).	27
Equação 4: Método T da otimização.....	27

SUMÁRIO

1. Introdução	6
2. Objetivos.....	8
3. Discussão e Análise Críticas da Norma	9
3.1. Condições Climáticas e Termoigrométricas de Projeto	9
3.1.1. Ventos	10
3.1.2. Variação da Temperatura ao Longo do Dia	11
3.2. Cálculo de Carga Térmica	14
3.2.1. Métodos de Cálculo	15
3.2.1.1. Métodos TFM e RTS	16
3.2.2. Fontes de Calor Internas e Externas	18
3.3. Critérios de Projeto	22
3.4. Distribuição do Ar	25
4. Conclusão	29
5. Bibliografia.....	31

1. Introdução

O condicionamento de ar implica no controle automático da atmosfera de um ambiente para o conforto de seres humanos ou animais ou para desenvolver uma atividade industrial ou um processo científico. No condicionamento do ar filtragem, movimentação, temperatura, e umidade relativa são controladas dentro de limites impostos pelas especificações de projeto.

Um dos principais propósitos dos sistemas de condicionamento de ar é prover condições de conforto térmico, “estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente” (Norma ASHRAE 55-2004). Por isso, um dos primeiros passos no desenvolvimento de projetos de sistemas de condicionamento de ar é estabelecer critérios de conforto e saúde para os diversos ambientes. Esses critérios devem incluir temperatura do ambiente condicionado, velocidade do ar em torno dos ocupantes, temperatura média radiante, requisitos de qualidade do ar interior, níveis de ruído e vibração.

A escolha dos critérios de projeto apropriados deve levar em consideração a atividade industrial ou processo científico desenvolvido ou a idade, a atividade dos ocupantes, taxa de ocupação, possíveis contaminantes presentes no ambiente condicionado.

No Brasil, em virtude de haver predominância de climas quentes e úmidos, por vezes é necessário que o ambiente seja climatizado. Sob esse aspecto, convém ressaltar que as condições térmicas dos ambientes não dependem apenas do clima, mas também do calor introduzido pelas atividades desenvolvidas e pelos equipamentos envolvidos nos processos, bem como pelas características construtivas do ambiente e a sua capacidade de manter condições internas adequadas no que se refere ao conforto térmico das pessoas.

As especificações de projeto de sistema de condicionamento de ar para conforto destinam-se a prover um ambiente confortável para os ocupantes ao longo do ano na presença de ganhos de calor sensível no verão.

A satisfação com o ambiente condicionado é baseada em respostas subjetivas e complexas para muitas variáveis. Projeto, construção e uso do espaço ocupado e do sistema de condicionamento de ar determinam o grau de satisfação com o ambiente condicionado. A percepção de conforto está relacionada à condição física, trocas de calor com o ambiente e características fisiológicas. As trocas térmicas entre um indivíduo e o ambiente são influenciadas pelos seguintes fatores;

- Temperatura de bulbo seco;
- Umidade relativa;
- Radiação;
- Movimento do ar;
- Tipo de vestuário;
- Nível de atividade;
- Contato direto com superfícies com temperaturas diferentes da temperatura do corpo.

Embora as condições térmicas ideais sejam difíceis de definir para todos os indivíduos em suas condições particulares devido a preferências pessoais, a Norma ASHRAE 55-2004 especifica as condições que possam ser aceitáveis por pelo menos 80% dos ocupantes adultos de um determinado ambiente condicionado.

No Brasil a norma que regulamenta toda a cadeia de ar condicionado é a NBR 16401-1/2008, por isso, nesta monografia será feita uma Discussão e Análise Crítica da Norma ABNT NBR 16401-1/2008 que trata especificamente de projetos das instalações.

2. Objetivos

O objetivo desse trabalho é a Discussão e Análise Crítica da Norma ABNT NBR16401-1/2008 que foi publicada em agosto de 2008 e substituição à NBR 6401/1980, face a necessidade de aprimoramento, planejamento e controle dos critérios mínimos essenciais para o conforto humano para atender ao índice físico de qualidade de vida exigidos pelos órgãos de controle como Ministério da Saúde, Ministério do Trabalho e Anvisa – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

3. Discussão e Análise Críticas da Norma

No dia 04/08/2008 foi publicada, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a norma NBR-16401 – Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários que substituiu a NBR-6401, em vigor desde 1980. Uma das diferenças da nova norma é o fato de estar dividida em 3 partes.

Parte 1: Projetos e Instalações. Nesta parte da norma foram atualizados os parâmetros básicos de projeto que definem os dados climáticos de algumas cidades no Brasil, as metodologias de cálculo de carga térmica, parâmetros de dimensionamento de tubulações e dutos, aspectos construtivos de dutos, tabelas de dissipação de calor de equipamentos, pessoas, entre outros.

Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Nesta segunda parte da norma foi realizada uma especificação mais completa dos parâmetros do ambiente interno que propiciam conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar condicionado.

Parte 3: Qualidade do ar interior. A terceira parte da norma especifica os parâmetros básicos para se obter uma qualidade do ar interior em um ambiente climatizado. Esta parte da norma apresenta as vazões mínimas de ar exterior para ventilação, os níveis mínimos de filtragem de ar e os requisitos técnicos dos sistemas e componentes de um sistema de climatização para garantir a qualidade do ar.

Esse trabalho se dedicará à discussão e análise técnica da parte 1 da NBR 16401.

3.1. Condições Climáticas e Termoigrométricas de Projeto

As variações na temperatura, umidade e vento que ocorrem ao longo do ano devem-se a diversos fatores que, para uma determinada localidade, compõem o clima. Devido ao fato de a Terra estar inclinada em um ângulo de $23,5^\circ$ em relação ao seu eixo de rotação, a energia recebida do sol em um lugar em particular varia ao longo do ano. A ilustração 1 mostra o ângulo de inclinação da Terra em relação ao Sol e ao seu eixo de rotação.

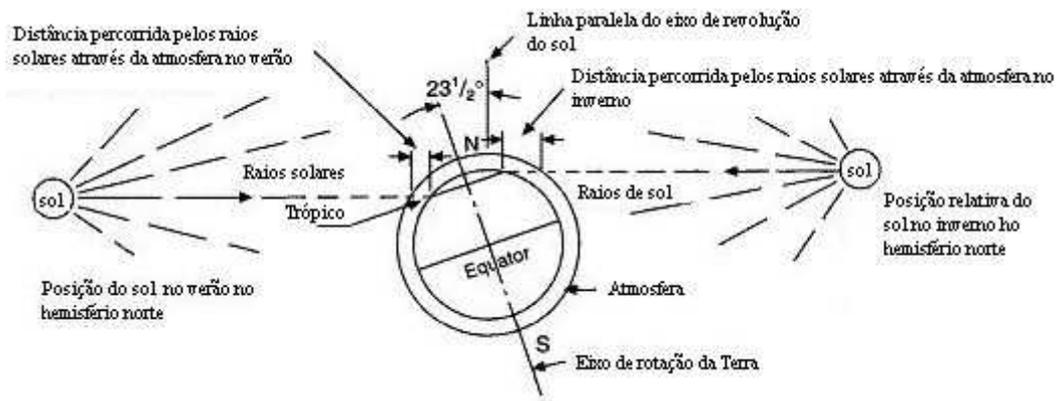


Ilustração 1 – Relação geométrica Terra-Sol no verão e no inverno: No verão a radiação solar que passa pela atmosfera percorre uma distância menor com uma altitude do sol maior. (Jones W. P., 2001)

Um segundo fator que influencia as condições climáticas de uma localidade em particular é sua localização geográfica, que determina quanta energia solar é absorvida pela Terra, quanta energia é armazenada e quanta é refletida para a atmosfera.

3.1.1. Ventos

Há três fatores que combinados produzem o padrão geral dos ventos no globo terrestre. Esses fatores são influenciados ainda mais por efeitos locais como proximidade de terra ou mar, presença de montanhas e assim por diante. Contudo, há três que se sobressaem:

1. O aquecimento desigual do solo em relação ao mar;
2. O desvio do vento devido a forças relacionadas à rotação da Terra em torno do seu próprio eixo;
3. A conservação do momento linear – um fator decorrente da velocidade linear do ar em baixas latitudes que são menores do que em altas latitudes.

Em resumo, em regiões equatoriais o clima é uniforme, a zona mais quente é uma área de ventos muito fracos e variáveis com calma frequentes, céu nublado e trovoadas violentas. Esses ventos fracos e variáveis são chamados de “Doldrums”. Acima e abaixo das “Doldrums” até 30° ao norte e ao sul, estão os “Trade Winds” que sopram com relativa constância, mas são interrompidos por tempestades ocasionais. As brisas terrestres e marinhas também afetam seu comportamento. Acima 30° de latitude norte e abaixo de 30° de latitude sul, nas regiões polares sopram os “Westerlies” que são resultado de três fatores mencionados anteriormente. Contudo seu comportamento é muito mais influenciado por regiões de baixa pressão, denominados ciclones, que produzem tempestades com padrões similares ao de zonas temperadas. Esta

influência dos ciclones faz com que o tempo seja muito menos previsível nas zonas temperadas, exceto quando há uma massa de terra muito grande – por exemplo, na Ásia ou na América do Norte. Em áreas temperadas constituídas por uma mistura de ilhas, litoral e mar, como no noroeste da Europa, a regra é que o comportamento é difícil de prever em longo prazo. Todos esses fatores são agravados pela influência das correntes quentes e frias de água.

Há algumas exceções para todas as generalizações feitas anteriormente. Um importante efeito local ocorre quando, no litoral, brisas marinhas e litorâneas resultam de um aquecimento desigual. Durante o dia, o ar se eleva sobre a terra quente e ar frio vem do mar, fenômeno que ocorre ao longo do dia. À noite, o resfriamento rápido da terra resfria o ar nas proximidades de sua superfície, que então se move para o mar para deslocar o ar mais quente, que sobe. Este efeito resulta em uma média de temperaturas do ar. A variação diurna na temperatura de bulbo seco é menor perto da costa do que mais para o interior do continente.

A relação dos ventos não é considerada pela NBR 16401-1/2008, provavelmente por ter pequena influência nas condições de contorno para cálculo de carga térmica de um ambiente em relação às outras variáveis.

3.1.2. Variação da Temperatura ao Longo do Dia

A energia recebida do sol é uma fonte de calor para a atmosfera e, portanto, o balanço das trocas de calor por radiação entre a Terra e o meio ambiente, que reflete em mudanças da temperatura do ar, varia de acordo com a posição do sol no céu. Pode-se dizer então que haverá uma variação de temperatura em função do tempo. A superfície da Terra está mais fria antes do amanhecer, devido a perdas de calor para o céu escuro e para nuvens durante toda a noite. Assim, é usual considerar a temperatura mais baixa do ar como ocorre cerca de uma hora antes do amanhecer. Assim que o sol nasce, sua radiação começa a aquecer a superfície da terra, e como a temperatura do solo aumenta as camadas de ar imediatamente acima, são aquecidas por convecção. Há então um aumento progressivo na temperatura do ar enquanto o sol continua a se erguer, e por um pequeno período depois que ele passa do ápice de sua trajetória. Isso ocorre devido ao fato de parte do calor recebido pela Terra vindo do sol ser armazenado nas camadas

mais altas ao longo da manhã e ser perdido por convecção para a atmosfera no início da tarde. É comum encontrar temperaturas do ar mais altas entre 14 h e 16 h. É razoável supor que há algum tipo de relação senoidal entre tempo solar e a temperatura de bulbo seco do ar.

No hemisfério norte, para latitudes em torno de 30°, por exemplo, no mês de junho, o sol nasce por volta das 4 h e se põe por volta das 20 h. O momento de menor temperatura ocorre por volta das 3 h e o de maior temperatura ocorre por volta das 15 h. Assim, há um espaço de 12 horas em que a temperatura aumenta. Já o período de resfriamento é cerca de apenas sete horas (de 20 h às 3 h). O contrário ocorre no mês de dezembro.

Considerando que a temperatura externa, t_θ varia de forma senoidal com o tempo, θ , seu ponto de máximo t_{15} , ocorre às 15 h, então:

$$t_\theta = t_{15} - \frac{D}{2} \left[1 - \sin \frac{(\theta\pi - 9\pi)}{12} \right]$$

Equação 1: Variação de temperatura ao longo do dia.

Onde, D é a diferença entre as médias das temperaturas máximas e mínimas diárias.

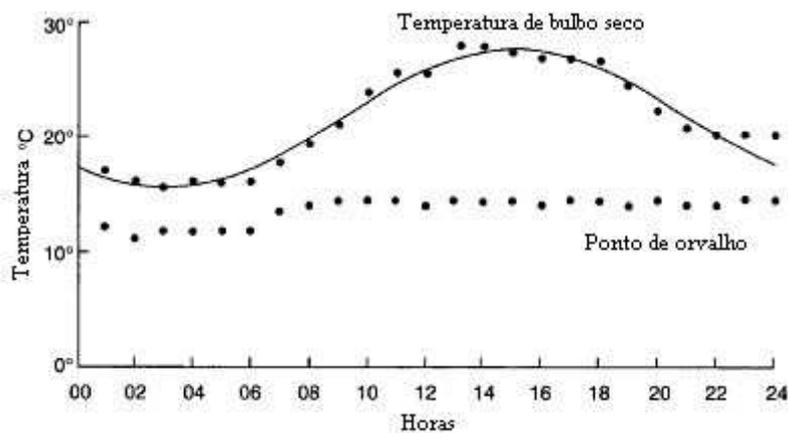


Ilustração 2 – Variação de temperatura no dia 17 de julho de 1967 em Wethersfield, Essex. (Jones W. P., 2001)

Dados climáticos a intervalos horários para muitas localidades do Reino Unido e outros países são mantidos. Tais informações são armazenadas eletronicamente e geralmente incluem temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco, ponto de orvalho,

direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, tipo de nuvens e cobertura de nuvens em diversas camadas e em diferentes altitudes, radiação solar e assim por diante. Como exemplo, alguns detalhes para o dia 17 de julho de 1967, o dia mais quente de 1967, em Wethersfield, próximo e Braintree em Essex são apresentados na ilustração 2. Essas informações foram tiradas de dados meteorológicos e apresentam temperatura de bulbo seco e bulbo úmido em função do tempo. Pode-se observar que a curva assume o aspecto senoidal.

Para o cálculo da variação de temperatura ao longo do dia a NBR 16401-1/2008 utiliza relação matemática semelhante:

$$TBS(h) = TBS - f\Delta TMD$$

Equação 2: Variação de temperatura ao longo do dia (NBR 16401-1/2008).

Onde $TBS(h)$ é a variação de temperatura de bulbo seco em função do tempo, TBS temperatura de bulbo seco, f fator de correção e ΔTMD é a variação média de temperatura ao longo do dia. Esses três últimos extraídos de dados meteorológicos. A norma apresenta tabelas com dados climáticos de várias cidades de todas as regiões do Brasil, entretanto, a norma carece de informações. Por exemplo, para o estado de Alagoas a norma tem informações apenas para a capital Maceió. Para o estado de Minas Gerais, apenas duas cidades têm dados disponíveis, Belo Horizonte e Uberaba.

A NBR 16401-1/2008 recomenda que para as localidades que não constam das tabelas deve-se adotar os parâmetros de uma localidade cujos valores mais se aproximam, mês, mas quente e mês mais frio, altitude, média dos extremos anuais e outros. Contudo, dentro de um mesmo estado, à mesma latitude, localidades bem próximas podem apresentar características climáticas totalmente divergentes induzindo o projetista a erros de dimensionamento de carga térmica. Cidades localizadas na mesma latitude podem estar localizadas em altitudes bem diferentes, ou mesmos em microrregiões climáticas diferentes.

Nesse aspecto a NBR 16401-1/2008 carece de informação vital para o cálculo de carga térmica para instalações de ar condicionado. Uma fonte de dados fidedigna, mais rica

detalhada e de fonte oficial, contribuiria para cálculos mais precisos da carga térmica. Assim, esse é um ponto onde a norma carece de aprimoramento.

3.2. Cálculo de Carga Térmica

O cálculo preciso da carga térmica de refrigeração ou de aquecimento é essencial para garantir uma harmonia entre as decisões essenciais de projeto e de operação da edificação. Se as cargas são subestimadas, os ocupantes e usuários do sistema poderão sentir desconforto térmico (calor ou frio). Por outro lado, se as cargas térmicas são superestimadas, o sistema poderá ficar demasiadamente grande (em geral, haverá desperdício de dinheiro, redução da eficiência do sistema, aumento no consumo de energia, e desconforto térmico). A precisão dos cálculos de carga térmica é uma fase importante do processo de projeto de um sistema de ar condicionado. Os diversos métodos de cálculo de carga térmica, com procedimentos matemáticos cada vez mais complexos, menos intuitivos e cada vez mais dependentes do uso de computadores, não deixam evidente a importância do cálculo preciso da carga térmica, uma vez que podem tornar esse procedimento uma tarefa meramente mecânica (preencher dados em uma planilha, por exemplo). Por isso, é imperativo que os iniciantes em projetos de sistemas de ar condicionado tenham bons fundamentos dos conceitos de cálculo de carga térmica.

Os equipamentos e sistemas são dimensionados a partir das cargas de projeto, que são calculadas usando dados climáticos que são reflexo da localização de uma edificação. Um cálculo de carga térmica representa o fluxo de calor para uma edificação através de seu envelope e vindo de fontes internas de calor. O termo ganho de calor é geralmente usado para descrever diversos fluxos de calor para a edificação ou ambiente condicionado. O termo carga térmica é usado para descrever a porção de ganho de calor que afetará a temperatura do ar em um determinado ponto no tempo. A grande maioria dos sistemas de ar condicionado responde diretamente às cargas térmicas através de controles por meio de termostatos (e indiretamente aos ganhos de calor). As cargas térmicas podem ser sensíveis (relativa à temperatura do ar), latentes (relativas à umidade) ou podem ser uma combinação de ambas, externas (passando através dos limites da edificação – envoltória) ou internas (originadas dentro da edificação – envoltória).

A carga térmica surge da transferência de calor através da envoltória opaca, os ganhos de calor por insolação surgem por transferência de calor através de janelas e abóbadas, os ganhos de calor por infiltração surgem através de aberturas na envoltória, e os ganhos de calor internos surgem devido a pessoas, iluminação, e equipamentos localizados no espaço condicionado. Há ainda, ganhos de calor devido à renovação do ar e pressurização da edificação. Esses componentes da carga térmica estão descritas em detalhes em vários capítulos da *ASHRAE Handbook—Fundamentals*. Embora existam alguns métodos manuais que permitam uma aproximação, análises precisas de energia requerem capacidades de simulação através de computador bastante sofisticadas. Existem incontáveis programas de computador (softwares) que podem desenvolver tais análises.

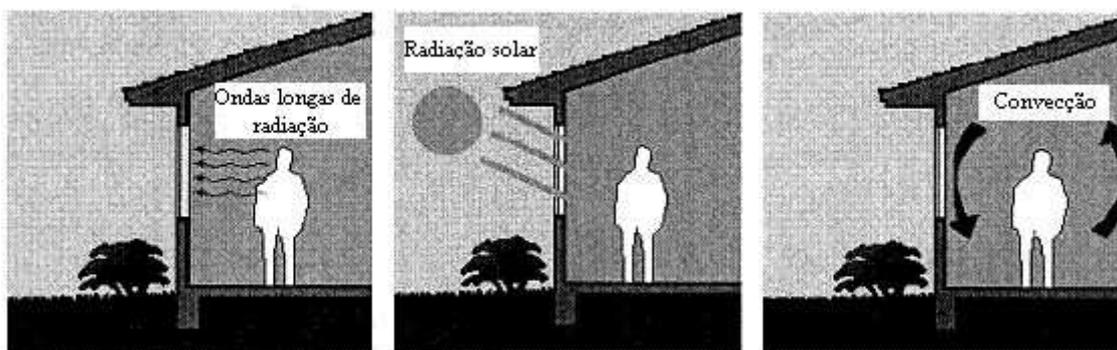


Ilustração 3 – Os impactos das Áreas Envidraçadas no Conforto Térmico (*ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001*).

3.2.1. Métodos de Cálculo

Existem muitos métodos de cálculo de carga térmica disponíveis para os projetistas de sistema de climatização. Muitos desses procedimentos são baseados em pesquisas e publicações da ASHRAE que em alguns casos apresentam simplificações e ajustes para aplicações específicas. Cargas térmicas para pequenas envoltórias em geral são calculadas manualmente usando a carga térmica do horário de pico com a adição de um fator de segurança para a seleção do equipamento. As cargas térmicas de grandes edificações, com múltiplo zoneamento, são calculadas quase que universalmente através do uso de programas de computador.

Os projetistas de sistemas de climatização não devem aceitar os resultados dos cálculos computacionais sem uma análise e revisão posteriores. Experiência e um bom entendimento do comportamento da carga térmica de diferentes tipos de edificações, que vem após desenvolver os cálculos através de interações manuais, são ferramentas que tornam o engenheiro projetista menos susceptível a aceitar distorções que possam ser cometidas pelos programas de computador (softwares). O uso de computadores tem reduzido o tempo de cálculo além de permitir o uso de técnicas analíticas mais complexas.

Entretanto, é importante rever e entender os métodos de cálculo antes de confiar plenamente nos programas de computador. Para isso, é fundamental entender as diversas variáveis envolvidas no cálculo da carga térmica, os efeitos dessas variáveis na carga térmica, e as interações entre as diversas variáveis. Os projetistas devem rever cuidadosamente a documentação dos programas computacionais para determinar quais os procedimentos de cálculo são usados. É válido comparar os resultados de programas de computador com métodos de cálculo manuais aproximados como forma de validação de amostras para confirmar se os programas computacionais cumprem o que prometem.

A maior parte da carga térmica em muitas edificações comerciais e institucionais é devido a radiação solar através das áreas envidraçadas e cargas internas. Em muitas instalações com um propósito específico como fábricas, centros comerciais, entre outros as cargas térmicas internas predominam. Dados referentes a essas cargas térmicas devem ser desenvolvidos com cuidados especiais que incluem dimensões e características físicas de janelas e clarabóias, propriedades do vidro, bem como do tipo de montagem desses dispositivos, sombreamento interno externo, carga térmica devido à iluminação e outros dispositivos elétricos/eletrônicos, calor sensível e calor latente devido a pessoas e equipamentos, e o diversos horários de operação e funcionamento da edificação/sistema.

3.2.1.1. Métodos TFM e RTS

O método RTS (Radiant Time Series) é uma nova simplificação para desenvolver cálculos de dimensionamento de carga térmica, que é derivado do método HB (Heat Balance). Ele substitui todos os outros métodos simplificados tais como TFM (Transfer

Function Method), CLTD/CLF (Cooling Load Temperature Difference / Cooling Load Factor) e é totalmente equivalente ao método TETD/TA – Temperature Difference / Time Averaging.

Esse método foi desenvolvido em resposta ao desejo de oferecer um método que é rigoroso, mas não requer cálculos interativos, e que quantifica a contribuição de cada componente no total da carga térmica. Além disso, o usuário pode inspecionar e comparar os coeficientes de diferentes tipos de construção e zonas de forma a ilustrar seus impactos nos resultados.

Essas características do método RTS tornam mais fácil o julgamento do projetista de sistema de climatização, no processo de cálculo de carga térmica. Esse método é adequado para cálculo de picos de carga térmica, mas não deve ser usado para simulações anuais, devido às suposições inerentes ao método.

O método TFM (Transfer Function Method) requer muitos passos para os cálculos. Esse método foi originalmente desenvolvido para análises diárias, mensais e anuais do uso de energia, portanto, é mais orientado para cálculo de médias horárias do que cálculo de cargas de pico.

A NBR 16401-1/2008 recomenda o uso de programas de computador para o cálculo da carga térmica, uma vez que o cálculo manual pode se tornar inviável. Os métodos de cálculo dos programas de computador devem ser baseados naqueles preconizados pela ASHRAE (TFM – Transfer Function Method ou preferivelmente RTS – Radiant Time Series Method).

A escolha do programa de computador fica a cargo do projetista que é livre para escolher entre os diversos programas disponíveis no mercado. O projetista deve avaliar os valores já predefinidos para os coeficientes globais de temperatura e adequá-los às condições reais de projeto da edificação.

Para sistemas simples com apenas uma zona ou número reduzido de zonas, a norma sugere cálculo manual baseado no método ASHRAE CLTD/CLF (Cooling Load

Temperature Difference / Cooling Load Factor) que são versões simplificadas do método TFM.

O fato de a NBR 16401-1/2008 se atentar com o cálculo cada vez mais preciso de carga térmica, mostra preocupação com o uso racional de recursos, materiais, equipamentos e energia demonstrando uma visão de longo prazo no tangente à sustentabilidade, ecologia e meio ambiente. Recomendar o cálculo manual de unidades pequenas ou com poucas zonas indica uma preocupação da norma em desenvolver experiência nos projetistas que será usada para o julgamento dos resultados apresentados pelos diversos programas de computador (softwares) disponíveis no mercado. Evitando, assim, que o projetista confie cegamente nessas ferramentas computacionais e possam ser induzido ao erro no caso dessas ferramentas falharem.

3.2.2. Fontes de Calor Internas e Externas

Antes de efetuar os cálculos de carga térmica o projetista deve estabelecer condições internas e externas apropriadas. As condições externas podem ser obtidas de dados climáticos de fontes oficiais. No caso de projetos especiais ou espaços onde é necessário um controle preciso de temperatura e umidade relativa, outros valores de projeto são necessários. As condições internas de projeto são governadas tanto pelas exigências relativas ao conforto térmico como por requisitos de materiais e processos conduzidos no espaço condicionado. Na maioria das edificações, tais como residências e escritórios, o conforto térmico é o único requisito de projeto, e pequenas variações tanto na umidade como na temperatura, dentro do espaço condicionado não são um grande problema.

As condições externas são extremamente variáveis, seja pela estação do ano seja pela hora do dia. Essas condições causam mudanças significativas nos requisitos de aquecimento e resfriamento ao longo do tempo não apenas no perímetro dos espaços condicionados, mas para todo o sistema de climatização.

Condução através da Envoltória. A maior parte dos prédios novos são bem isolados, e a transferência de calor por condução através de paredes e telhados opacos em geral são pequenas quando comparadas a condução através dos vidros (janelas e clarabóias), por

exemplo. Vidros melhorados têm transparência e componentes translúcidos realçados. Dados referentes à propriedades físicas de produtos de janelas estão prontamente disponíveis, sendo que muitos deles são certificados por organizações independentes.

Ganhos de Calor através de Vidros. A radiação solar frequentemente representa a maior parte da carga térmica e varia com a hora do dia e a orientação. Uma análise cuidadosa dos ganhos de calor através de janelas, clarabóias, e portas de vidro é imperativa. Fachadas sombreadas, sombra de edifícios adjacentes, e reflexões do solo, água, e áreas de estacionamento devem ser consideradas na análise de cargas térmicas. Espaços com excesso de áreas envidraçadas devem ser analisados em função do conforto dos ocupantes em relação às condições de radiação solar. Suprimento de ar deve entrar nesses espaços de modo a compensar as áreas envidraçadas ou outro tipo de radiação para compensar a temperatura média radiante. Dispositivos de sombreamento internos e externos (brizes, cortinas, persianas, etc.) devem ser considerados nos cálculos de carga térmica. Uma estreita coordenação entre o engenheiro e o arquiteto é crítica em edifícios com extensas áreas envidraçadas para que alternativas que reduzam a carga térmica devido a insolação sejam estudadas e aplicadas.

Ar de Renovação. A carga térmica devido ao ar de renovação não tem um impacto direto no espaço condicionado (exceto vindo de janelas abertas), mas impõe uma carga no equipamento. O ar exterior é introduzido normalmente através do equipamento de climatização e adiciona uma carga térmica (sensível e latente), portanto afetando seu dimensionamento e seleção. A vazão do ar de renovação depende da taxa de ocupação e é função de cada espaço.

Uma evolução dessa versão da norma em relação à anterior é a obrigatoriedade de renovação do ar para todos os ambientes condicionados. Entretanto, a NBR 16401-1/2008 fica submetida à Portaria 3523 do Ministério da Saúde que permite a redução da taxa de renovação do ar em determinados ambientes, que é um ponto a ser melhorado.

Carga Térmica devido à Infiltração. A maioria dos prédios comerciais é pressurizada pelo sistema de climatização para reduzir a infiltração (entrada de ar não intencional no recinto condicionado) de ar exterior. Em geral assume-se que em um edifício condicionado não há infiltração, embora possa ocorrer infiltração na terça parte inferior

de edificações mais altas que 25 m mesmo com sistema de climatização operando e pode ocorrer quando o sistema está desligado. O dimensionamento da carga térmica de aquecimento (incluindo infiltração) frequentemente ocorre durante a madrugada quando as edificações não estão ocupadas nem pressurizadas. Nas entradas, determina-se a taxa de infiltração com base na taxa de abertura de portas e diferenciais de pressão devido ao vento, temperatura, e efeito chaminé. Em climas quentes e úmidos, o calor sensível devido à infiltração é baixo, e o calor latente é alto.

Carga Térmica devido a Ocupantes, iluminação e Equipamentos. Enquanto as cargas térmicas externas podem ser advindas de ganhos ou perdas de calor, as internas são sempre ganhos de calor.

Os ganhos de calor devido aos ocupantes estão relacionados com a atividade desenvolvida no recinto condicionado, por exemplo, atletas em um ginásio, liberam oito vezes mais calor do que uma pessoa sentada em um auditório. O número de pessoas em um recinto a ser condicionado pode ser estimado pelo número de assentos ou de estações de trabalho, estimativas fornecidas pelos proprietários do empreendimento, baseado em normas e publicações oficiais, e até mesmo na experiência do engenheiro projetista. Para o julgamento será sempre necessário, por exemplo, saber o número de pessoas que estão em pé ao redor de uma mesa de dados em um cassino.

Ganhos de calor de iluminação, pessoas e equipamentos (computadores, fotocopiadoras, equipamentos de processo, etc.) devem ser determinados. O nível de iluminação e o tipo de luminária em geral são determinados por engenheiros eletricitas. O projetista de sistema de condicionamento de ar deve determinar a quantidade de calor e sua distribuição em cada espaço condicionado. As perdas de calor por radiação e por convecção pelas luminárias devem ser quantificadas para determinar a quantidade de calor será absorvida pelos dispositivos de retorno e quanto calor será adicionado ao espaço condicionado e que deverá ser retirado pelo sistema de climatização.

Os ganhos de calor vindos de equipamentos em um escritório podem ser estimados em relação à área (W/m^2), mas em outros ambientes, estimar esses ganhos é mais complexo. Em uma central de computadores, laboratórios, e plantas de processo, por exemplo, o calor liberado pelos equipamentos representa a maior parte da carga térmica.

Em laboratório ou uma manufatura, é importante entender a operação de cada equipamento, o calor sensível e calor latente liberado para o espaço condicionado, e a duração do ciclo de operação. Um forno elétrico usará sua potência máxima apenas durante os períodos iniciais de operação, uma vez atingida a temperatura de operação, este usará a potência necessária para compensar as perdas de calor para a vizinhança. Portanto, o ganho de calor para o espaço condicionado é a perda de calor do forno e não a potência necessária na partida. Se muitos equipamentos estão instalados em uma mesma zona, o projetista deve determinar a diversidade de uso (quantos serão operados ao mesmo tempo). Com a ajuda do cliente ou do pessoal operacional ou até mesmo com base em sua experiência, o projetista pode desenvolver um calendário de uso para estimar o ganho máximo de calor em determinada zona térmica. Miscelâneas de cargas em ambientes condicionados específicos não devem ser ignoradas, tais como os balcões frigoríficos em um supermercado ou ganhos de calor e umidade em piscinas cobertas.

Ganhos de Calor de Ventiladores e Bombas. O ventilador do equipamento usado para insuflar e circular o ar no sistema no ambiente condicionado adiciona calor ao ar. A quantidade de calor adicionada depende da pressão estática e da eficiência do motor do ventilador. Se o motor fica localizado na corrente de ar junto com o ventilador, o calor liberado devido à ineficiência do motor deve ser incluído nos cálculos de carga térmica. Se o motor está fora da corrente de ar, então a carga térmica devido à ineficiência do motor aquece apenas o espaço ocupado pelo motor. Nos dois casos o calor liberado pelo motor deve ser incluído nos cálculos de carga térmica.

Quando o motor está montado fora da corrente de ar, apenas a eficiência do motor afeta os ganhos de calor pelo ar que é aproximadamente 10% a 15% menor que os ganhos de calor do ventilador e do motor. A única porção de energia que não é convertida em aumento na temperatura do ar é a pressão dinâmica, que é a energia necessária para aumentar a velocidade do ar no ventilador (Grondzik, 2007). O calor devido ao atrito relacionado à queda de pressão gradual ao longo do duto não gera aumento na temperatura do ar porque este calor é anulado pelo efeito de resfriamento devido à redução da pressão estática.

Se o ventilador sopra o ar através da serpentina, todo o calor (exceto aquele relativo a pressão dinâmica) é absorvido pela serpentina e não afeta o ar de insuflamento. Com o ventilador montado de modo a aspirar o ar pela serpentina, a capacidade de

insuflamento deve ser aumentada para compensar o ganho de calor devido ao motor do ventilador.

Nos dois arranjos, o calor devido ao motor do ventilador deve ser considerado e retirado pelo equipamento de climatização. Em sistemas cujo equipamento é um resfriador de líquido (*chiller*) o calor gerado pelas bombas de circulação de água gelada deve ser incluído nos cálculos e representa em torno de 1,5% da carga térmica de toda a edificação.

Perdas nos Dutos. Geralmente a perda de calor em dutos é igual a 3% do volume de ar do sistema. Entretanto, vazamentos maiores podem ocorrer e podem afetar os cálculos de carga térmica. É costume especificar teste de vazamento para sistema de alta pressão, mas não para sistemas de baixa pressão. Vazamentos em sistemas de baixa pressão podem variar de 10% a 20% do volume total de ar do sistema. As conexões para alguns difusores podem apresentar vazamentos de até 35% se não seladas e vedadas adequadamente.

Vazamentos em dutos não afetam a carga térmica dos sistemas de climatização, a menos que ocorram dentro de espaços não condicionados, mas sempre afetam a quantidade de ar de insuflamento e podem afetar o controle de temperatura se excessivo.

Em relação ao cálculo de carga térmica, a NBR 16401-1/2008 traz uma ampla gama de tabelas contendo dados dos mais diversos. Como exemplo, tabelas com a taxa de ocupação em função do tipo de utilização da edificação, tabelas com a dissipação de calor para vários tipos de máquinas elétricas e eletrônicas, taxa de iluminação (semelhante àquela para pessoas, etc.). De modo geral, a norma é bem semelhante ao material encontrado na referência bibliográfica.

3.3. Critérios de Projeto

Um entendimento do uso de cada área é essencial para selecionar o sistema de climatização apropriado bem como sistemas de controle adequados, uma vez que a capacidade do sistema proposto deve ser avaliado e comparado com os requisitos do ambiente condicionado. Por exemplo, se algumas zonas do ambiente condicionado

necessitam de controle de umidade e outras não, o sistema de climatização deve ser capaz de prover a umidificação necessária de determinada área sem prejudicar as demais. Abaixo alguns pontos que devem ser observados no projeto de climatização.

Controle de Ruído e Vibração. O ruído e a vibração do sistema de climatização podem ser reduzidos através da seleção apropriada do equipamento, controle de vibração e interposição de atenuadores e barreiras sonoras. Entretanto, som residual ainda pode ser percebido quando o sistema está muito próximo das áreas ocupadas.

A localização do sistema de climatização pode influenciar o planejamento espacial da edificação, de modo que áreas onde baixo nível de ruído é requerido fiquem não localizadas próximas aos equipamentos maiores.

A transmissão de ruído e vibração, pelo sistema de climatização, para um espaço ocupado é um ponto relevante a considerar na seleção do equipamento e projeto do sistema. O ruído pode ser transmitido de salas de máquinas para o ambiente condicionado por diversos caminhos, através de fluxo de ar e de água, por paredes de dutos e tubos, ou através da estrutura da edificação.

Os efeitos das fontes de ruído e vibração podem ser controlados por:

- Seleção correta do equipamento;
- Projeto adequado dos sistemas de distribuição de ar e água;
- Contenção estrutural e arquitetônica;
- Dissipadores/absorvedores ao longo da trajetória do som;
- Isolamento do espaço ocupado, onde factível.

Qualidade do Ar. A definição de qualidade do ar interior aceitável é definida pela *ASHRAE Standard 62.1* como “*ar no qual não há contaminantes conhecidos em níveis de concentração nocivos... e com o qual a maioria (80% ou mais) da pessoas expostas não expressam insatisfação*” .

Entre as fontes de contaminantes estão:

- Os ocupantes que emitem dióxido de carbono, vapor de água, partículas sólidas, odores e aerossóis biológicos;
- Fumo que produz monóxido e dióxido de carbono, gases e vapores, partículas sólidas, compostos orgânicos voláteis e odores;
- Materiais da edificação, mobiliário, etc.;
- As atividades das pessoas e equipamentos que elas usam;
- O ar de renovação que pode estar contaminado;
- O ar recirculado e insuflado no ambiente condicionado pode ser contaminado por filtros, acessórios e rede de dutos contaminados.

A NBR 16401-1/2008 determina limites dos contaminantes e procedimentos para captação, tratamento e filtragem do ar. Além disso, os procedimentos de manutenção do sistema devem ser executados periodicamente, mantendo as condições de uso e higiene das instalações de ar condicionado. Parâmetros mínimos para o volume do ar de renovação são estabelecidos de acordo com o propósito de uso da instalação. A tomada de ar de renovação deve estar o mais distante possível de possíveis fontes de contaminantes. Observa-se uma evolução da norma ao recomendar avaliações da qualidade do ar com parâmetros claros e bem definidos.

Prevenção de Incêndio. Um sistema de climatização pode ser usado para prover suprimento de ar ou efetuar a exaustão do ar durante um incêndio, nos casos em que o sistema de prevenção não possua um sistema dedicado a essa função. Nesse caso, padrões de distribuição de ar em caso de emergência poderão variar dos padrões do ar quando do uso comum do sistema de climatização.

Em grandes edificações, as zonas de escape são separadas por paredes de porta corta-fogo. Portanto, os sistemas de distribuição e exaustão do ar devem coincidir com os padrões de zoneamento do sistema de combate a incêndio. Em escadas, corredores, lobbies, ou outras áreas onde a pressão positiva durante emergências é necessária, o sistema de climatização pode ser usado para trazer ar externo para pressurizar o espaço.

Sistema de exaustão de fumaça e de pressurização em geral, exigem mais do que o necessário fluxo de ar condicionado para conforto. Se o sistema de climatização é deve

funcionar como um sistema de controle de fumaça, ele deve ser capaz de alterar o volume do fluxo de ar e manter as relações de pressão, quando utilizado no modo de proteção contra incêndios.

A NBR 16401-1/2008 é divergente da literatura apenas quanto ao uso do sistema de ar condicionado durante incêndios. Enquanto a literatura menciona ser possível, o uso do sistema de ar condicionado, para exaustão da fumaça ou pressurização de áreas específicas, a norma recomenda que o sistema de climatização seja desligado nesses casos.

3.4. Distribuição do Ar

Existem três métodos de dimensionamento que são de uso comum: o método da igual perda de pressão, o método da recuperação estática e o método “T” de otimização. *ASHRAE Handbook – Fundamentals* traz farta listagem de tabelas com as perdas de pressão em dutos.

Um projetista cauteloso deve adicionar um fator de segurança razoável para os valores disponíveis na literatura e nos catálogos de fabricantes para garantir capacidade adequada para o ventilador que circulará o ar no sistema.

O volume de ar exterior (para ventilação ou para renovação) deve ser igual ao volume de ar que é extraído do sistema por vazamento em frestas. Haverá infiltração no sistema de climatização a menos que os volumes de ar de renovação e de insuflamento sejam iguais ao volume de ar que é perdido por frestas (de portas e janelas).

Ignorar este fato pode levar ao congelamento de serpentinas em climas mais frios. As edificações devem ser pressurizadas para reduzir ou evitar a infiltração de ar exterior. É costume, portanto acrescentar entre 5% e 10% mais ar exterior para compensar a as perdas de ar por frestas.

O sensor de pressão estática da edificação precisa ter as condições exteriores como referência. O sensor de ar exterior deve ser sensível aos efeitos do vento e do clima. Pode-se usar uma câmara para atenuar as leituras de variações bruscas na pressão.

Recomenda-se a construção de aberturas de alívio em grandes edifícios para a entrada de ar exterior, mas equipando-as com registros motorizados para evitar a reversão do fluxo de ar causado por vento forte quando esses atenuadores estão abertos.

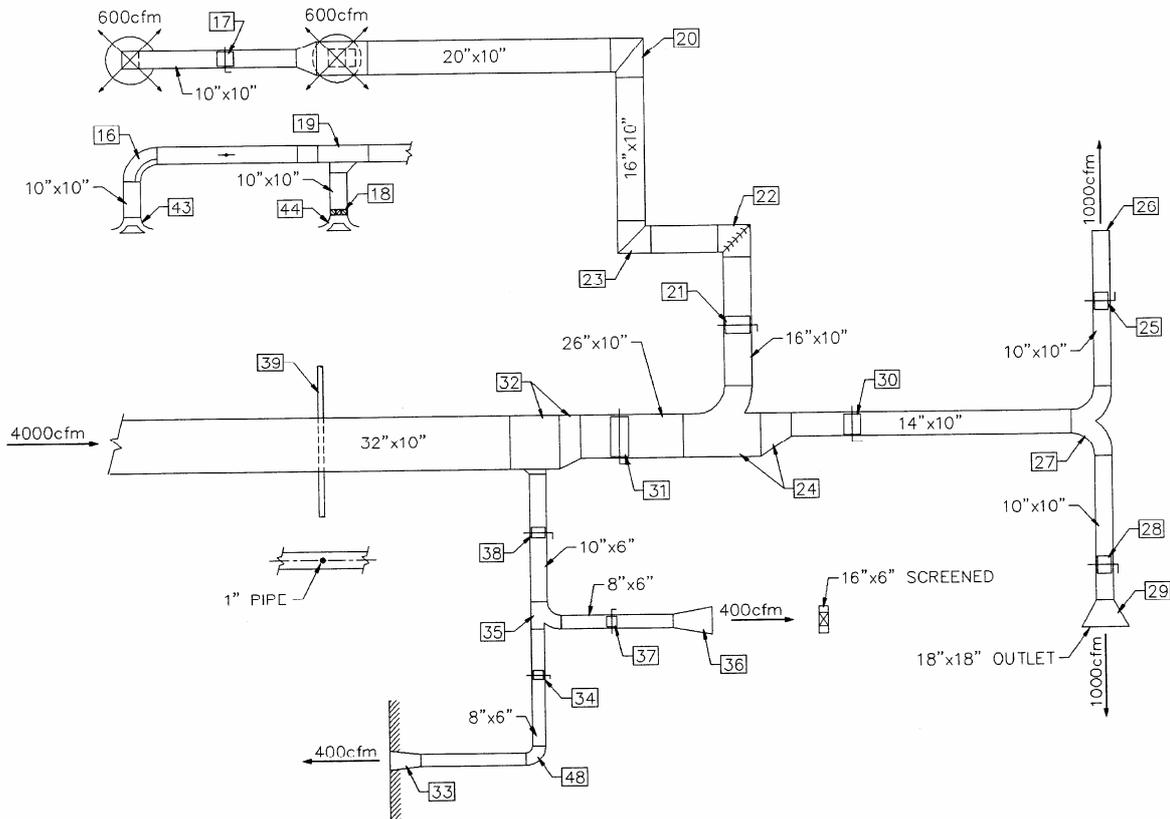


Ilustração 4 – Desenho esquemático de uma rede de dutos (ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001).

Método da Igual Perda de Pressão. Nesse método, os dutos são dimensionados por uma perda de pressão constante ao longo do duto. Nos casos em que o custo da energia é alto e o custo de instalação dos dutos é baixo, uma perda de pressão menor por comprimento de duto, torna o sistema mais econômico. Nos casos em que o custo da energia é mais baixo e o custo de instalação dos dutos é mais alto, perdas de pressão por metro mais altas tornam o sistema mais econômico.

Depois de um dimensionamento inicial, calcula-se a perda de pressão total para todas as seções de dutos, e então se redimensionam as sessões para balancear as perdas de pressão em cada junção.

Método da Recuperação Estática de Pressão. O objetivo desse método é obter a mesma pressão estática nas diversas junções dos dutos mudando-se a seção do duto.

Para iniciar o processo de dimensionamento da rede de dutos, arbitra-se a uma velocidade máxima na seção do duto. Nos casos em que o custo da energia é alto e o custo de instalação dos dutos é baixo, uma velocidade inicial mais baixa é mais econômica, e vice-versa.

Todas as seções são dimensionadas através de iterações na equação 3, exceto nas seções terminais. Nessas seções, o duto é dimensionado sabendo-se os requisitos de pressão estática. Se a seção terminal é um difusor, um registro, etc. a pressão estática na saída da seção é igual a zero.

$$\Delta p_r = R \left(\frac{\rho V_1^2}{2} - \frac{\rho V_2^2}{2} \right)$$

Equação 3: Método da Igual Perda de Pressão (Carrier Corporation 1960).

onde R é o fator de recuperação de pressão e Δp_r é a recuperação de pressão estática entre as junções. Os valores de R variam de 0,5 a 0,95.

Método T de Otimização. O método T da otimização é um procedimento dinâmico baseado na idéia usada por Bellman (1957) com uma pequena modificação que reduz o número de cálculos necessários na iteração.

O objetivo da equação 4 que inclui o custo inicial do sistema e o valor presente da energia. Horas de operação anual e taxas de juros, período de amortização também são necessários para o processo de otimização.

$$E = E_p (PWEF + E_s)$$

Equação 4: Método T da otimização.

onde E é o valor presente de aquisição e operação do equipamento, E_p é o custo de energia no primeiro ano, E_s é o custo inicial, PWEF é um adimensional (Smith 1968).

O custo da energia depende da taxa de energia aplicável e da demanda energética. Uma vez que a diferença a pressão do ventilador entre um sistema otimizado e um sistema não otimizado é uma pequena parte da demanda, ela pode ser desprezada. O custo inicial de um sistema de climatização inclui o equipamento e a rede de dutos.

O custo do espaço requerido pelos dutos e equipamentos é um outro importante fator na no método T de otimização. Incluir este custo reduz o tamanho dos dutos, aumentando o consumo de energia. Já que o espaço disponível para a rede de dutos não é usado por mais nada, este custo é ignorado.

As seguintes condições devem ser obedecidas no processo de otimização (Tsal and Adler 1987):

- *Continuidade:* Para cada nó, o fluxo que entra é igual ao fluxo que sai;
- *Balanço da Pressão:* A perda de pressão total em cada ramo deve ser igual à pressão total do ventilador, ou em cada junção a perda de pressão total para todos os ramos é a mesma;
- *Tamanho Nominal dos Dutos:* Os dutos são construídos em tamanhos discretos. Cada diâmetro de um duto redondo ou altura e largura de um duto retangular é arredondado para o incremento mais próximo, em geral 25 ou 50 mm;
- *Restrição da Velocidade do Ar:* A máxima velocidade do ar possível é uma limitação acústica (ruído);
- *Restrição Construtiva:* Limites arquitetônicos podem restringir o tamanho dos dutos.

Esses três métodos são apresentados pela NBR 16401-1/2008, que recomenda o uso do método T da otimização apenas para sistemas de grande porte em que o custo da rede de dutos seja muito elevado. É provável que essa recomendação baseia-se no fato de esse método ser um tanto complexo, além do fato de o retorno financeiro ser viável apenas em grandes sistemas.

4. Conclusão

O dimensionamento preciso e otimizado dos sistemas de climatização começa com o cálculo correto da carga térmica do ambiente. Como mencionado anteriormente, se as cargas são subestimadas, os ocupantes e usuários do sistema poderão sentir desconforto térmico (calor ou frio). Por outro lado, se são superestimadas, o sistema poderá ficar demasiadamente grande (em geral, haverá desperdício de dinheiro, redução da eficiência do sistema, aumento no consumo de energia, e desconforto térmico).

Para o correto cálculo de carga térmica existem alguns métodos que entre eles de destacam TFM (Transfer Function Method) e RTS (Radiant Time Series), ambos recomendados pela NBR 16401-1/2008. Nos casos de sistemas únicos, o cálculo pode ser manual, entretanto em sistemas maiores fica inviável a utilização de qualquer desses métodos de cálculo.

É tarefa do engenheiro projetista levantar todas as fontes de calor internas e externas, as perdas de calor, situação geográfica da edificação e a influência da isolamento sobre as áreas envidraçadas e sua influência no cálculo da carga térmica. Um estudo detalhado de todas as condições que afetam o ambiente condicionado é crucial para a precisão do cálculo da carga térmica e o dimensionamento exato do equipamento de climatização e da rede de dutos que distribuirá o ar pelas diversas zonas desse ambiente.

Embora seja tarefa do engenheiro projetista levantar a falta de dados como dissipação de calor de máquinas e equipamentos, pessoas, iluminação, propriedades físicas dos diversos materiais empregados na construção das edificações, dados climáticos, entre outros são essenciais para o dimensionamento preciso do sistema de climatização. Com relação aos dados climáticos das cidades brasileiras, a NBR 16401-1/2008 apresenta escassez de dados para diversas localidades. Em Minas Gerais, por exemplo, apenas Belo Horizonte e Uberaba estão listadas em as cidades cujos dados climáticos estão disponíveis. Cidades como Montes Claros, Juiz de Fora, Uberlândia, Varginha e outros pólos regionais não constam dessa relação. Tal fato pode ser explicado, provavelmente pela falta de pesquisas na área bem como coleta de dados para compor a estatística dessas localidades.

Em relação ao dimensionamento da rede de dutos do sistema de climatização a NBR 16401-1/2008, recomenda o uso de três métodos preconizados pela ASHRAE, quais sejam: o método da igual perda de pressão, o método da recuperação estática de pressão e o método T de otimização. Entre eles destaca-se o método T da otimização que leva em consideração fatores econômicos como custo da energia, custo da rede de dutos, custo inicial da instalação, etc. O uso do método traz redução não só no dimensionamento da rede de dutos, como no consumo de energia. Entretanto, devido a sua dificuldade computacional esse método se justifica apenas para instalações de grande porte.

A NBR 16401-1/2008 traz fatores extremamente atuais para o projeto de sistemas de climatização. A preocupação com dimensionamento otimizado, que leva a economia de energia, materiais e recursos, está presente em diversos pontos da norma desde o cálculo de carga térmica até o dimensionamento da rede de dutos. Essa norma apresenta pontos de fundamental importância como parâmetros para conforto térmico dos ocupantes e usuários do sistema de climatização, parâmetros para qualidade do ar interior, nível de ruído tanto internos como para a vizinhança da edificação bem como prevenção de incêndio. Tudo isso, torna a NBR 16401-1/2008 moderna e atual, mas que necessita ser atualizada sempre, dados os constantes avanços tecnológicos. Entretanto, há pontos que carecem de aprimoramento como renovação do ar e dados climáticos de localidades e outros.

5. Bibliografia

ASHARE Handbook Fundamentals – cap. 29 Nonresidential Cooling and Heating Load Calculation – 2001

ASHARE Handbook Fundamentals – cap. 34 Duct Design – 2001

ASHRAE. 2004a. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Bellman, R.E. 1957. Dynamic programming. Princeton University Press, New York.

Carrier Corporation. 1960. Air duct design. Chapter 2 in System design manual, Part 2: Air distribution. pp.17-63. Syracuse, NY.

Grondzik, Walter T. 2007. Air-Conditioning System Design Manual. 2nd ed.

Jones, William Peter. 2011 Air Conditioning Engineering. 5th ed.

Norma ABNT NBR16401-1/2008 “Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações”.

Smith, G.W. 1968. Engineering economy: Analysis of capital expenditures. The Iowa State University Press, Ames, IA.

Tsal, R.J. and M.S. Adler. 1987. Evaluation of numerical methods for ductwork and pipeline optimization. ASHRAE Transactions 93(1):17-34.