

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL
EM VISUAL BASIC PARA ESTIMATIVA DE CARGA
TÉRMICA SEGUNDO A NBR 16401**

**RAFAEL CAMPOS ROCHA
RAFAEL DE ALMEIDA**

**VITÓRIA – ES
Junho/2010**

**RAFAEL CAMPOS ROCHA
RAFAEL DE ALMEIDA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL
EM VISUAL BASIC PARA ESTIMATIVA DE CARGA
TÉRMICA SEGUNDO A NBR 16401**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação dos alunos Rafael Campos Rocha e Rafael de Almeida, apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

**VITÓRIA – ES
Junho/2010**

**RAFAEL CAMPOS ROCHA
RAFAEL DE ALMEIDA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL
EM VISUAL BASIC PARA ESTIMATIVA DE CARGA
TÉRMICA SEGUNDO A NBR 16401**

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. João Luiz Marcon Donatelli
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador**

**Prof. Dr. José Joaquim Conceição Soares
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador**

**Prof. Me. Leonardo Rodrigues de Araujo
Instituto Federal do Espírito Santo
Examinador**

Vitória - ES, 28 de Junho de 2010

DEDICATÓRIA

Rafael Campos Rocha

Dedico este projeto a minha mãe, que me deu força pra seguir em frente.

Rafael de Almeida

Dedico este projeto aos meus pais e familiares por acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Rafael Campos Rocha

Agradeço a todos que de maneira direta ou indireta me ajudaram a superar todas as dificuldades encontradas ao longo dos anos de estudos. Ao professor João Luiz Marcon Donatelli, que nos incentivou a desenvolver este projeto.

Rafael de Almeida

Agradeço a todas as pessoas que acreditaram no meu potencial e me ajudaram a chegar aqui: meus pais Rubens e Heloísa, meus familiares Eduardo e Mararrúbia, minha companheira Tatiana, amigos de curso, professores e ao Professor João Luiz Marcon Donatelli.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os métodos de cálculo	77
---------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama P x h.....	17
Figura 2 - Mecanismos de transferência de calor	18
Figura 3 - Transferência de calor por condução: a) Placas planas b) Cilindro	18
Figura 4 - Carta psicrométrica	23
Figura 5 - Fatores que afetam o conforto térmico.....	24
Figura 6 - Tela principal do programa.....	35
Figura 7 - Tela principal com botão "dados de projeto" em destaque.....	36
Figura 8 - Características do verão local	37
Figura 9 - Dados climáticos do local	38
Figura 10 - Características do verão local para a cidade de Vitória	39
Figura 11 - Ábaco de conforto para verão e valores sugeridos de umidade.....	40
Figura 12 - Características do verão local e cálculo da umidade relativa interior	41
Figura 13 - Tela principal com o botão "condução" em destaque.....	42
Figura 14 - Menu condução.....	43
Figura 15 - Coeficientes globais de transmissão de calor U.....	44
Figura 16 - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U para paredes não convencionais.....	45
Figura 17 - Ganho de carga térmica de condução pelas paredes	46
Figura 18 - Ganho de carga térmica de condução por divisórias internas e teto.....	47
Figura 19 - Divisórias internas e tetos	48
Figura 20 - Ganho de carga térmica de condução por divisórias internas e teto.....	49
Figura 21 - Tipo de proteção nas janelas	50
Figura 22 - Fator solar	50
Figura 23 - Ganho de carga térmica de condução por superfícies transparentes ...	51
Figura 24 - Gráfico da variação da TBS ao longo do dia	52
Figura 25 - Variação da carga térmica ao longo do dia	52
Figura 26 - Coeficiente global de transmissão de calor para dutos	53
Figura 27 - Ganhos de carga térmica por dutos	54
Figura 28 - Níveis de atividade	55
Figura 29 - Ganhos de carga térmica por ocupantes.....	56
Figura 30 - Tipos de equipamento	57

Figura 31 - Ganhos de carga térmica por equipamentos.....	58
Figura 32 - Tipos de aberturas e ajustes para portas e janelas.....	60
Figura 33 - Tipos de porta e finalidade do ambiente.....	60
Figura 34 - Tipos de portas abertas.....	61
Figura 35 - Ganho de carga térmica por infiltração de ar exterior	61
Figura 36 - Portas e janelas existentes na sala	62
Figura 37 - Ganho de carga térmica pelo método das trocas de ar.....	62
Figura 38 - Finalidade do local	63
Figura 39 - Eficiência de distribuição de ar na zona térmica	64
Figura 40 - Ganho de carga térmica por ventilação.....	64
Figura 41 - Avaliação entre vazão de ventilação e infiltração	65
Figura 42 - Tela principal apresentando os resultados	66
Figura 43 - Gráfico tipo pizza.....	67
Figura 44 - Posições livres e ocupadas	68
Figura 45 - Gráfico comparativo	68
Figura 46 - Local da zona térmica	69
Figura 47 - Dimensões da zona térmica	70

SIMBOLOGIA

A - Área da superfície

DT - Diferencial de temperatura entre o ar exterior e o ar interior ao duto

p_s - Pressão parcial do vapor de água

p_t - Pressão atmosférica

Q - Carga térmica

q_l - Calor latente

q_s - Calor sensível

t_e – Temperatura externa

t_i – Temperatura interna

U – Coeficiente global de transmissão de calor

W - Umidade absoluta interna

Δt - Acréscimo de temperatura devido à insolação

γ - Peso específico do ar

ϕ - Umidade relativa

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
SIMBOLOGIA.....	VI
SUMÁRIO.....	VII
RESUMO	X
1 INTRODUÇÃO	11
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	13
2.1 Introdução.....	13
2.2 Definições.....	13
2.3 1ª lei da termodinâmica.....	14
2.4 Diagrama de P x h	17
2.5 Princípios da Transferência de Calor	17
2.5.1 Transferência de Calor por Condução	18
2.5.2 Transferência de Calor Por Convecção.....	19
2.5.3 Transferência de Calor por Radiação	20
2.5.4 Coeficiente Global de Transmissão de Calor	20
2.6 Psicrometria	21
2.6.1 Definições Fundamentais.....	21
2.6.2 Carta Psicrométrica.....	22
2.7 Conforto Térmico.....	23
2.7.1 Conceito	23
2.7.2 Fundamento Teórico	24
3 O CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA	26
3.1 Introdução.....	26
3.2 Temperatura de Bulbo Seco, Úmido e Umidade Relativa.....	27
3.3 Carga Térmica Devido à insolação	27
3.3.1 Transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes:	28
3.3.2 Transmissão de calor do sol através de superfícies opacas:.....	28
3.4 Carga Térmica Devido aos Dutos	29

3.5 Carga Térmica Devido as Pessoas.....	30
3.6 Carga Térmica Devido aos Equipamentos	30
3.7 Carga Térmica Devido a Vazão de Ar Exterior	30
3.7.1 Ventilação:	31
3.7.2 Infiltração:	32
4 ESTUDO DE CASO: CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA ATRAVÉS DO	
PROGRAMA DESENVOLVIDO.....	34
4.1 Dados da Zona Térmica.....	34
4.1.1 Considerações a respeito do espaço físico.....	34
4.2 Determinação da Carga térmica.....	35
4.2.1 Inserindo os Dados de Projeto	35
4.2.2 Carga Térmica de Condução.....	43
4.2.3 Carga Térmica devido aos Dutos	53
4.2.4 Carga Térmica de Ocupantes	55
4.2.5 Carga Térmica de Equipamentos	57
4.2.6 Carga Térmica de Infiltração	59
4.2.7 Carga Térmica de Ventilação	63
4.2.8 Resumo	66
4.2.9 Gráficos	67
5 COMPARAÇÃO COM CASO APRESENTADO EM OUTRA LITERATURA	69
5.1 Considerações a respeito do espaço físico e geográfico	69
5.2 Composição das Paredes:	70
5.3 Carga Térmica de Parede (Q_p):	71
5.4 Carga Térmica Devido a Equipamentos:	72
5.5 Carga Térmica devido a quantidade de pessoas:	72
5.6 Carga Térmica devido a ventilação:	73
5.7 Carga Térmica Total (Q_{total}):.....	73
5.8 Composição das paredes:	73
5.9 Carga Térmica de Parede (Q_p):	74
5.10 Carga Térmica Devido a Equipamentos:	74
5.11 Carga Térmica devido a quantidade de pessoas:	75
5.12 Carga Térmica devido à ventilação:	75
5.13 Carga Térmica Total (Q_{total}):.....	76

	5.14 Comparação de Resultados:	77
6	CONCLUSÃO	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
8	ANEXO A - TABELAS DA NBR 16401	80
9	ANEXO B - TABELAS EXTRAIDAS DE CREDER, 1996	93
10	ANEXO C - TABELAS EXTRAÍDAS DE SHAPIRO, 2002.....	98
11	ANEXO D - CARGA TÉRMICA DA SALA 21 CALCULADA ANALITICAMENTE.....	99

RESUMO

Este trabalho apresenta um programa em *Microsoft Excel Visual Basic* para o cálculo de carga térmica. A metodologia empregada no trabalho é baseada inicialmente em uma revisão bibliográfica sobre os princípios que envolvem refrigeração e ar condicionado. Posteriormente usando o programa fez-se um cálculo detalhado do dimensionamento da carga térmica do recinto com dados referentes ao livro Instalações de Ar Condicionado, CREDER (1996) e da Norma NBR 16401, com enfoque em condicionamento de ar para aparelhos de janela e parede, obtendo resultados satisfatórios quando comparados com os obtidos por outros métodos.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de condicionamento de ar tem fundamental importância na vida humana, pois está vinculado ao conforto térmico do homem. Segundo o *site históriadetudo.com*, durante muito tempo, o homem pensou em maneiras de amenizar os efeitos do calor. Invenções mais antigas, como ventiladores, abanadores e até o uso do gelo em larga escala faziam parte dos métodos para amenizar a temperatura em um ambiente. No início da década de 1890, em Nova York, a empresa *Sackett-Wilhelms Lithography and Publishing Co* viu que seu trabalho ficava prejudicado no verão, pois o calor fazia com que os papéis absorvessem a umidade do ar, tornando as escritas borradas e escuras. Assim, a empresa contratou o engenheiro formado pela Universidade de Cornell, Willis Carrier, para desenvolver uma forma de solucionar a situação. O engenheiro desenvolveu, em 1902, um processo que resfriava o ar, fazendo-o circular por dutos resfriados artificialmente, o que também era capaz de reduzir a umidade. Este foi o primeiro ar-condicionado contínuo por processo mecânico da história.

Conceitualmente condicionamento de ar implica no controle automático de um meio ambiente tanto para conforto humano ou de animais, como para o desempenho adequado de processos industriais ou de laboratório, segundo CREDER (1996).

A carga térmica é a potência calorífica que é necessária fornecer ou retirar de uma zona térmica para que as condições de conforto como temperatura e umidade relativa se mantenham constantes. Essa quantidade de calor é calculada com bases nas épocas mais críticas do ano a fim de evitar que em alguma época do ano as condições de conforto não sejam atingidas.

A carga térmica é o balanço energético da zona térmica. Neste balanço leva-se em consideração a transferência de calor através das paredes, pavimentos e envidraçados, renovação do ar devido à ventilação ou infiltrações e fontes de calor internas como equipamentos, iluminação e ocupantes.

Como na maioria dos cálculos de engenharia há uma infinidade de variáveis que influenciam no cálculo da carga térmica dentre elas os materiais envolvidos, dimensões, localização e orientação, disposição de janelas, aparatos de sombreamento, horário de funcionamento, entre outros.

Segundo Karashima (2006), a contabilização de todos esses fatores relacionados acima complica o cálculo de carga térmica mais detalhado. Para esse cálculo mais detalhado e preciso utilizam-se ferramentas computacionais, as quais podem ser desde a utilização de um método simplificado de cálculo (e.g. CLTD) numa planilha elaborada no programa Microsoft Excel, até programas comerciais disponibilizados no mercado, como o TRACE (TRANE, 2006a). Existem ainda programas disponibilizados gratuitamente, como o EnergyPlus (DOE, 2006), financiado e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 Introdução

Para a estimativa da carga térmica detalhada de ar condicionado, é necessário entender alguns conceitos fundamentais, esses conceitos envolvem os fundamentos da termodinâmica (1ª lei da termodinâmica) e os fundamentos da transferência de calor (condução, convecção e radiação).

2.2 Definições

Antes de serem definidos os fundamentos envolvidos no cálculo, algumas definições são de extrema importância para o entendimento. Segundo MARQUES (2006), têm-se as seguintes definições:

- **Propriedades termodinâmicas** - São características macroscópicas de um sistema, como: volume, massa, temperatura, pressão etc.

- **Estado Termodinâmico** - Pode ser entendido como sendo a condição em que se encontra a substância, sendo caracterizado pelas suas propriedades.

- **Processo** - É uma mudança de estado de um sistema. O processo representa qualquer mudança nas propriedades da substância. Uma descrição de um processo típico envolve a especificação dos estados de equilíbrio inicial e final.

- **Ciclo** - É um processo, ou mais especificamente uma série de processos, onde o estado inicial e o estado final do sistema (substância) coincidem.

- **Substância Pura** - É qualquer substância que tenha composição química invariável e homogênea. Ela pode existir em mais de uma fase (sólida, líquida e gasosa), mas a sua composição química é a mesma em qualquer das fases.

- **Temperatura de saturação** - O termo designa a temperatura na qual se dá a vaporização de uma substância pura a uma dada pressão. Essa pressão é chamada pressão de saturação para a temperatura dada. Assim, para a água (utiliza-se a água para facilitar o entendimento da definição dada acima) a 100 °C, a pressão de saturação é de 1,01325 bar. Para uma substância pura há uma relação definida entre a pressão de saturação e a temperatura de saturação correspondente.

- **Líquido Saturado** - Se uma substância se encontra como líquido à temperatura e pressão de saturação, diz-se que ela está no estado de líquido saturado.

- **Líquido Sub-resfriado** - Se a temperatura do líquido é menor que a de saturação, para a pressão existente, o líquido é chamado de líquido sub-resfriado (significa que a temperatura é mais baixa que a de saturação para a pressão dada), ou líquido comprimido, (significando ser a pressão maior que a pressão de saturação para a temperatura dada).

- **Título (x)** - Quando uma substância se encontra parte líquida e parte vapor, na temperatura de saturação (isto ocorre, em particular, nos sistemas de refrigeração, no condensador e no evaporador), a relação entre a massa de vapor e a massa total, isto é, a massa de líquido mais a massa de vapor, é chamada de título (x).

- **Vapor Saturado** - Se uma substância se encontra completamente como vapor na temperatura de saturação, é chamado de vapor saturado, e neste caso o título é igual a 1 ou 100%, pois a massa total é igual à massa de vapor.

- **Vapor Superaquecido** - Quando o vapor está a uma temperatura maior que a temperatura de saturação é chamado vapor superaquecido. A pressão e a temperatura do vapor superaquecido são propriedades independentes, e neste caso, a temperatura pode ser aumentada para uma pressão constante. Em verdade, as substâncias que são chamadas de gases são vapores altamente superaquecidos.

- **Volume de controle** – O tamanho e a forma do volume de controle são arbitrários e podem ser definidos de modo que a análise a ser feita seja a mais simples possível. A superfície do volume de controle pode ser fixa ou móvel, entretanto, o movimento desta deve ser referenciado em relação a algum sistema de coordenadas. WYLEN (2003).

Massa, calor e trabalho podem atravessar a superfície de controle, e a massa contida no volume de controle, bem como suas propriedades, podem variar ao longo do tempo. WYLEN (2003).

2.3 1ª lei da termodinâmica

A 1ª lei da termodinâmica engloba propriedades físicas indispensáveis para sua definição, essas propriedades são: temperatura, pressão, volume específico, massa específica, energia interna e entalpia.

As definições de energia interna e entalpia podem ser definidas segundo MARQUES (2006):

Energia Interna (u). É a energia que a matéria possui devido ao movimento e/ou forças intermoleculares. Esta forma de energia pode ser decomposta em duas partes:

- a) Energia cinética interna: relacionada à velocidade das moléculas;
- b) Energia potencial interna: relacionada às forças de atração entre as moléculas.

As mudanças na velocidade das moléculas são identificadas, macroscopicamente, pela alteração da temperatura da substância (sistema), enquanto que as variações na posição são identificadas pela mudança de fase da substância (sólido líquido ou vapor).

Entalpia (h). Na análise térmica de alguns processos específicos, freqüentemente são encontradas certas combinações de propriedades termodinâmicas. Uma dessas combinações ocorre quando se tem um processo a pressão constante, resultando a combinação $u + pv$. Assim é conveniente definir uma nova propriedade termodinâmica chamada entalpia, a qual é representada pela letra h . Matematicamente, tem-se:

$$h = u + pv \quad (2.1)$$

A primeira lei da termodinâmica estabelece que, durante qualquer ciclo percorrido por um sistema, a integral cíclica do calor é proporcional a integral cíclica do trabalho WYLEN (2003), ou seja, se baseia no “princípio da conservação de energia” dentro de um sistema termodinâmico.

De acordo com WYLEN (2003), o balanço de energia estabelece que, para um determinado intervalo de tempo, o somatório dos fluxos de energia entrando no volume de controle, é igual ao somatório dos fluxos de energia saindo do volume de controle mais a variação da quantidade de energia armazenada pelo mesmo, durante o intervalo de tempo considerado. Matematicamente, tem-se:

$$\sum \dot{E}_{ent} = \sum \dot{E}_{sai} + \frac{\Delta E_{vc}}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Sendo:

\dot{E}_{ent} – energia que entra no volume de controle;

\dot{E}_{sai} – energia que sai do volume de controle;

E_{vc} – energia armazenada no volume de controle;

Δt – intervalo de tempo considerado.

É importante ressaltar que, do ponto de vista termodinâmico, a energia é composta de energia cinética (E_c), energia potencial (E_p) e energia interna (U). A energia cinética e a energia potencial são dadas pelas equações (2.3) e (2.4), respectivamente, e, conforme mencionado anteriormente, a energia interna está associada ao movimento e/ou forças intermoleculares da substância em análise WYLEN (2003).

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (2.3)$$

$$E_p = mgz \quad (2.4)$$

Onde:

m - massa do sistema;

v - velocidade do sistema;

g - aceleração da gravidade;

z – Cota (elevação) com relação a um referencial adotado para o sistema.

Entre as formas de energia que podem atravessar a fronteira de um volume de controle, isto é, entrar ou sair do volume de controle, estão incluídos os fluxos de calor (\dot{Q}), os fluxos de trabalho (\dot{W}) e os fluxos de energia associados à massa atravessando estas fronteiras. Uma quantidade de massa em movimento possui energia potencial e energia cinética. Além disso, como geralmente o fluxo mássico(\dot{m}) é gerado por uma força motriz, há uma outra forma de energia associada ao fluxo, a qual está relacionada com a pressão. Esta última forma de energia é chamada de trabalho de fluxo, sendo dada pelo produto da pressão pelo volume específico do fluido. Assim, após algumas simplificações, a primeira lei da termodinâmica pode ser escrita como WYLEN (2003):

$$\sum \dot{Q} + \sum_{ent} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \sum_{sai} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) + \sum \dot{W} \quad (2.5)$$

2.4 Diagrama de P x h

Segundo MARQUES (2006), as propriedades termodinâmicas de uma substância são freqüentemente apresentadas, além das tabelas, em diagramas que podem ter por ordenada e abscissa, temperatura e entropia, entalpia e entropia, pressão absoluta e volume específico ou pressão absoluta e entropia.

O diagrama P x h apresenta em sua abscissa a entalpia (h) e na sua ordenada a pressão absoluta (P), sendo utilizadas para representar as propriedades de fluidos frigoríficos, pois representa de forma clara o ciclo termodinâmico de refrigeração, mostrando o estado físico do fluido em cada etapa do ciclo. Na figura 1 pode-se ver a representação do diagrama P x h e as regiões dos diferentes estados físicos e suas propriedades.

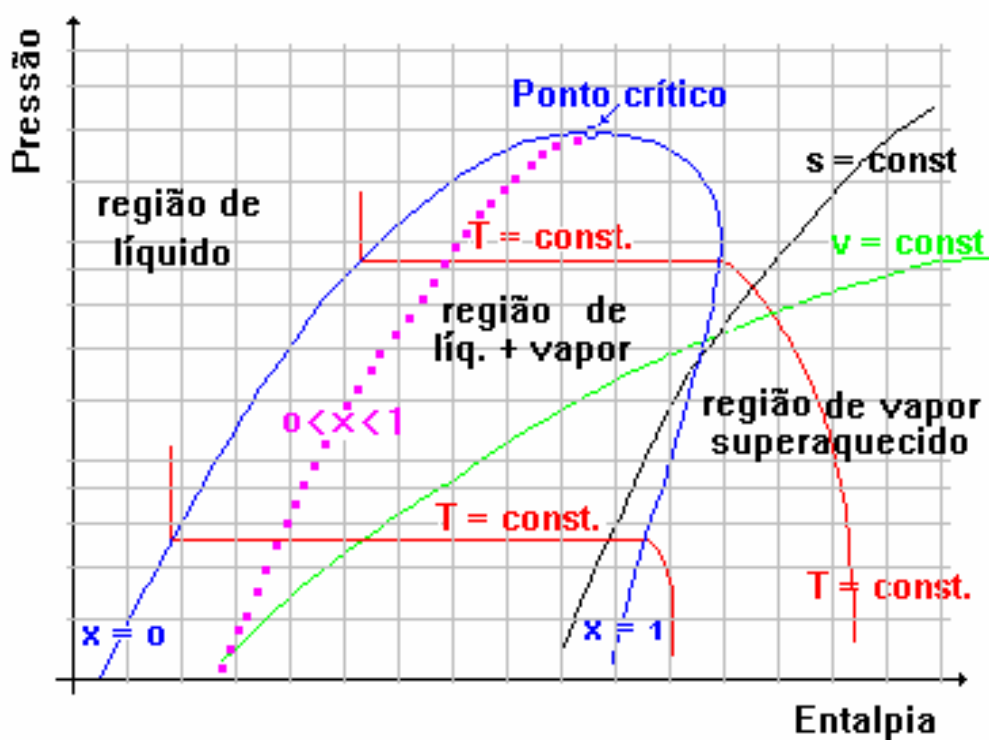


Figura 1 - Diagrama P x h

2.5 Princípios da Transferência de Calor

Para cálculo da carga térmica, é importante o conhecimento dos princípios de transferência de calor. Calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço INCROPERA (2008). Essa transferência de

calor pode ser de três tipos: condução, convecção e radiação. A figura 2 mostra os três tipos de transferência de calor.

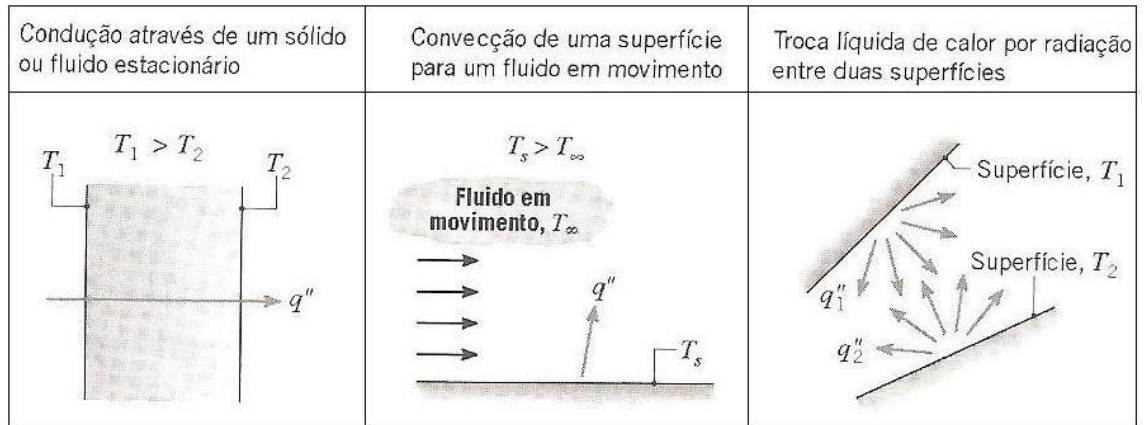


Figura 2 - Mecanismos de transferência de calor

2.5.1 Transferência de Calor por Condução

Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou fluido, a transferência de calor ocorre por condução INCROPERA (2008). A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas INCROPERA (2008). A figura 3 mostra dois tipos de superfícies ocorrendo transferência de calor por condução.

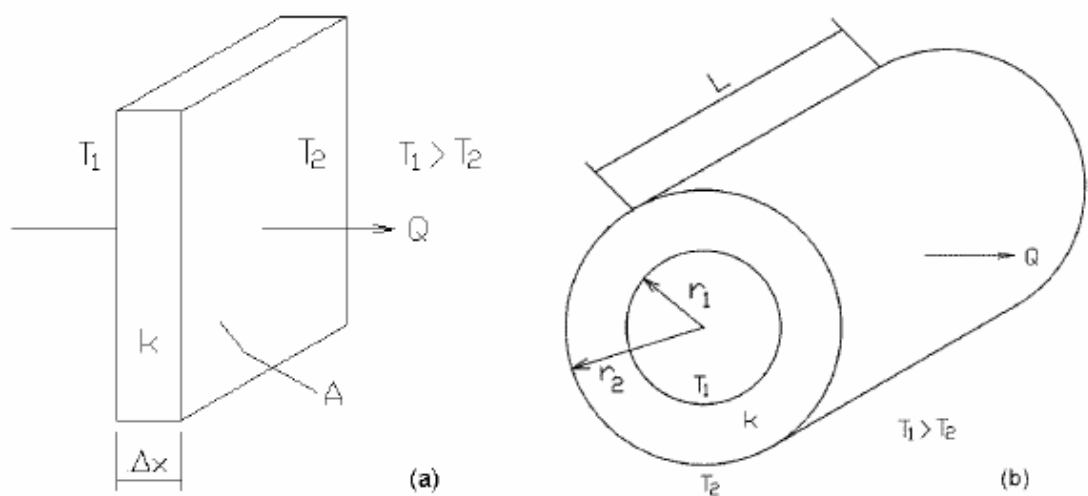


Figura 3 - Transferência de calor por condução: a) Placas planas b) Cilindro

Para o cálculo da transmissão de calor por condução, para placas planas e cilindro, tem:

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta t}{\Delta x} \text{ (Placas planas)} \quad (2.6)$$

$$\dot{Q} = 2\pi kL \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \text{ (Cilindros)} \quad (2.7)$$

Sendo:

\dot{Q} – fluxo de calor [W];

k – condutividade térmica [W/m.k];

A – área normal ao fluxo de calor [m²];

Δt – diferença de temperatura [K];

Δx – espessura da placa [m];

r_1 – raio interno do cilindro [m];

r_2 – raio externo do cilindro [m];

L – comprimento do cilindro [m].

2.5.2 Transferência de Calor Por Convecção

A convecção se refere à transferência de calor que ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles estiverem a diferentes temperaturas INCROPERA (2008). A convecção abrange dois mecanismos, o primeiro é a transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório e o segundo é devido ao movimento global (macroscópico) do fluido.

O tratamento tradicional para os problemas envolvendo convecção consiste em definir um coeficiente de transferência de calor por convecção, ou somente coeficiente de convecção (h), de tal forma que se tenha a seguinte equação (INCROPERA, 2008):

$$\dot{Q} = hA\Delta t \quad (2.8)$$

Sendo:

\dot{Q} – o fluxo de calor [W];

A – área normal ao fluxo de calor [m^2];
 DT – diferença de temperatura [K];
 h – coeficiente de convecção [$W/m^2 \cdot K$].

2.5.3 Transferência de Calor por Radiação

De acordo com INCROPERA (2008), todas as superfícies com temperatura não nula emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas. Desta forma, na ausência de um meio interposto participante, há transferência de calor líquida, por radiação, entre duas superfícies a diferentes temperaturas.

Segundo INCROPERA (2008), a transferência de calor por radiação se dá como resultado do deslocamento de fótons de uma superfície para outra. Ao atingir uma superfície, esses fótons podem ser absorvidos, refletidos ou transmitidos. A energia irradiada por uma superfície é definida em termos do seu poder emissivo, o qual, para um radiador perfeito (corpo negro), é dado pela equação (2.9), onde T é a temperatura do corpo e σ é a constante de *Stefan-Boltzman* ($5,669 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$).

O calor trocado entre duas superfícies pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$E_n = \sigma T^4 \quad (2.9)$$

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \varepsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.10)$$

Sendo:

$Q_{1 \rightarrow 2}$ – fluxo de calor [W]

E – emissividade;

T_1 – temperatura da superfície [K];

T_2 – temperatura da superfície vizinhança [K];

A – área da superfície [m^2].

2.5.4 Coeficiente Global de Transmissão de Calor

Segundo CREDER (1996) o coeficiente global de transmissão de calor (U) é definido como sendo o fluxo de calor por hora através de um metro quadrado de superfície, quando a diferença entre a temperatura do ar nos dois lados da parede ou teto é de um grau Celsius.

A tabela 3.3 do livro Instalações de Ar Condicionado, CREDER (1996), apresenta valores do coeficiente global de transmissão de calor para algumas paredes típicas. Porém para paredes não convencionais, quando se usam vários materiais diferentes, são utilizadas as resistências que cada material impõe ao fluxo para um cálculo mais preciso. Estas resistências são os inversos das condutibilidades e condutâncias e são somadas do mesmo modo que resistências em série de um circuito elétrico.

2.6 Psicrometria

2.6.1 Definições Fundamentais

De acordo com PIZZETI (1970) apud CARVALHO (2009), a psicrometria é o estudo das misturas de ar e de vapor de água. Nos sistemas de ar condicionado o ar não pode ser considerado seco, mas sim como uma mistura de ar e de vapor d'água, resultando daí a importância da psicrometria. Em alguns processos a água é removida do ar, enquanto em outros é adicionada.

A psicrometria possui parâmetros essenciais para o cálculo da carga térmica que, a partir deles podem definir a zona de conforto térmico humano. Esses parâmetros são:

- **Pressão parcial** – a pressão que ele exerceria se ocupasse sozinho um volume igual ao da mistura, na mesma temperatura.
- **Ar seco** – é a mistura de todos os gases do ar atmosférico, com exceção do vapor d'água.
- **Ar não saturado e ar saturado** – ar não saturado é a mistura de ar seco e vapor de água superaquecido, e ar saturado é a mistura de ar seco e de vapor de água saturado.
- **Umidade absoluta** – é definida como a razão entre a massa de vapor e a massa de ar seco.
- **Umidade relativa** – é definida como a relação entre a pressão parcial do vapor de água na mistura e a pressão de saturação correspondente à temperatura da mistura.

- **Entalpia específica do ar úmido** – a entalpia de uma mistura de gases é igual à soma das entalpias dos componentes da mistura. Assim, para o ar úmido, a entalpia é igual à soma das entalpias do ar seco e do vapor de água.

- **Volume específico do ar úmido** – é definido como a razão entre o volume da mistura em m^3 e a massa de ar seco em kg.

- **Temperatura de bulbo seco** – é a temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto à radiação.

- **Temperatura de bulbo úmido** – Se o bulbo de um termômetro for coberto com uma mecha de algodão saturado com água, a sua temperatura descera primeiro rapidamente e depois lentamente até atingir um ponto estacionário. A leitura neste ponto é chamada de temperatura de bulbo úmido do ar.

- **Temperatura de orvalho** – é a temperatura na qual o vapor de água se condensa, ou solidifica, quando resfriado a pressão e umidade absoluta constante.

2.6.2 Carta Psicrométrica

A carta psicrométrica é a representação gráfica dos parâmetros mencionados anteriormente, sendo de extrema importância para a visualização da zona de conforto térmico para o condicionamento do ar, e assim, definir o ciclo de ar condicionado. A figura 4 apresenta uma carta psicrométrica.

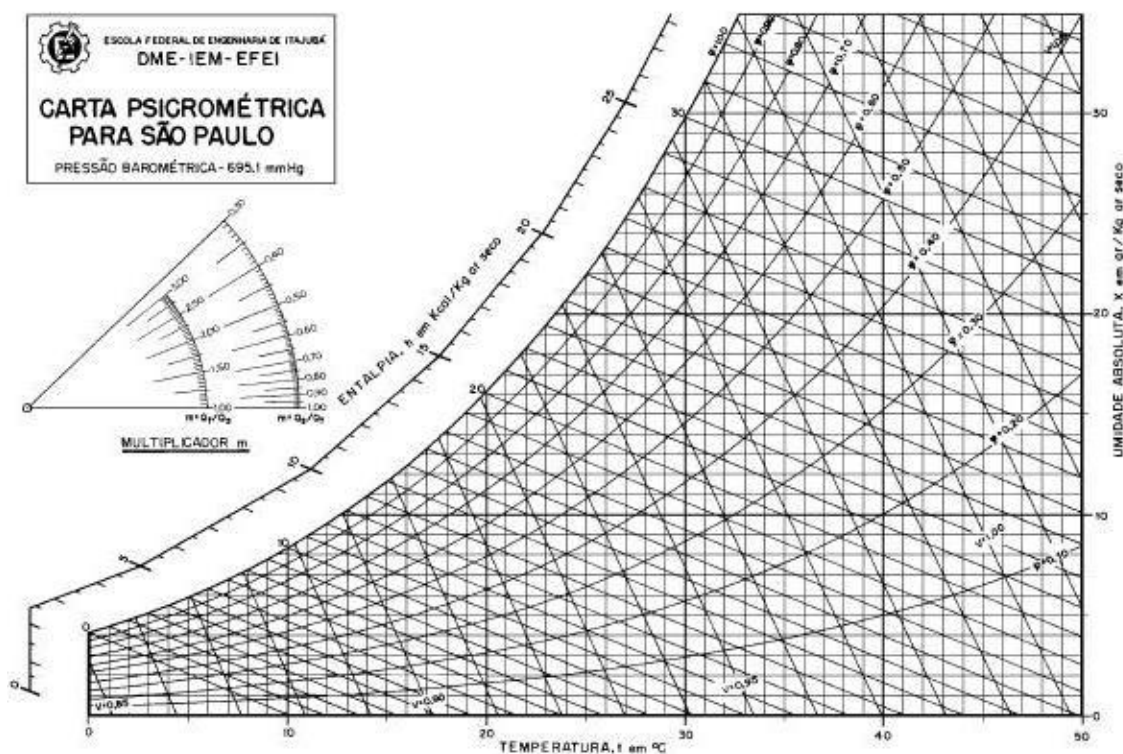


Figura 4 - Carta psicrométrica

2.7 Conforto Térmico

Para determinação da carga térmica necessária para o ambiente em estudo, é necessário entender o conceito de conforto térmico e seu fundamento.

2.7.1 Conceito

De acordo com PIZZETI (1970) apud CARVALHO (2009), conforto térmico é definido como condições ambientais de temperatura e umidade que proporcionam sensação de bem-estar às pessoas que ali estão. Na figura 5 podem-se ver os fatores que influenciam o conforto térmico humano.

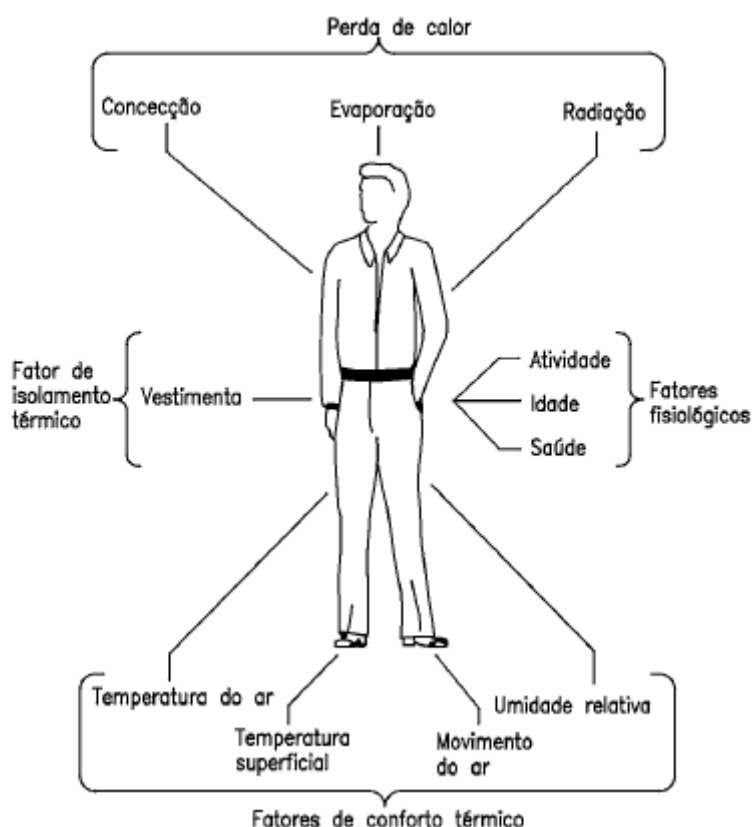


Figura 5 - Fatores que afetam o conforto térmico

2.7.2 Fundamento Teórico

A zona de conforto térmico a ser definida, é de extrema dificuldade, pois depende de parâmetros de sensação de conforto que variam em relação ao indivíduo e ao ambiente em que ele vive dificultando definir o limite entre o desconforto e conforto humano.

Existem, atualmente, vários índices ou critérios que estimam a região de conforto térmico, sendo estimados por pesquisadores estrangeiros e brasileiros, que procuram buscar a zona ideal de conforto térmico para o brasileiro, dentre deles tem se:

Diagrama Bioclimático dos Irmãos *Olgay*, as Zonas de Conforto de *Givoni* e a Norma ASHARE 55.

Basicamente o conforto térmico é afetado pelos seguintes fatores: temperatura, umidade, circulação do ar, radiação de superfícies vizinhas, odores, poeiras e ruído.

Já os parâmetros básicos de condicionamento de ar são: temperatura do ar, temperatura das superfícies circundante, umidade do ar e velocidade do ar e pureza do ar.

3 O CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

3.1 Introdução

O cálculo de carga térmica desenvolvido neste trabalho tem como referência o livro Instalações de Ar Condicionado, CREDER (1996) e a norma brasileira NBR 16401, que fornece os dados necessários para o cálculo em âmbito nacional das condições externas e internas do ambiente a ser estimado. As tabelas utilizadas neste trabalho do livro Instalações de Ar Condicionado e da NBR 16401 estão em anexo.

Primeiro, deve se definir os dados de projeto, que são as características da zona a ser calculada, que nesse trabalho são:

- Localização geográfica (características do verão local, altitude, pressão atmosférica)
- Orientação (segundo a rosa dos ventos)
- Tipo de recinto (residência, escritório, teatro, academia, etc.)
- Dimensões físicas da zona térmica (área, volume)
- Tipos de material (tipo de tijolo, revestimento, janela, etc.)
- Condições exteriores (tipo de fachada, cores, sombras);
- Equipamentos (quantidade e potência);
- Pessoas (quantidade, sexo);
- Iluminação (tipo e quantidade);
- Portas (quantidade);
- Temperatura de bulbo seco, úmido e umidade relativa;
- Transmissão de calor pela insolação;
- Transmissão de calor na parede externa e teto;
- Transmissão de calor no vidro, parede e piso internos;
- Calor de ar exterior para renovação.

3.2 Temperatura de Bulbo Seco, Úmido e Umidade Relativa

Após definidas as características da zona térmica, devem ser definidas as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido externas e a temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente a ser condicionado.

Para as condições externas utiliza-se a tabela A.6 (anexo) da norma NBR 16401, que, a partir da região e cidade escolhida definem a TBS, TBU, pressão atmosférica e umidade absoluta nas condições externas para verão.

Já as condições internas para verão são definidas pela norma NBR 16401 2ª parte.

A umidade absoluta interna é obtida através da expressão:

$$W = 0,622 \frac{P_s}{p_t - P_s} \quad (2.11)$$

Sendo:

p_s - pressão parcial do vapor de água;

p_t - pressão atmosférica.

A pressão parcial de vapor de água é obtida através fórmula:

$$p_s = \phi \times p_v \quad (2.12)$$

Sendo:

ϕ - umidade relativa;

p_v - pressão parcial de vapor em ar saturado a uma dada temperatura tabela A.2 (anexo).

3.3 Carga Térmica Devido à insolação

Segundo CREDER (1996) a mais poderosa energia que a superfície da terra recebe do universo é a energia solar, que é aproveitada pelo homem como fonte térmica. Esta energia é, quase sempre, a responsável pela maior parcela de carga térmica nos cálculos do ar condicionado, em geral como radiação e convecção.

Por reflexão, a energia de radiação solar pode ser introduzida nos recintos tanto em maior quantidade quanto mais brilhante for à superfície refletora.

3.3.1 Transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes:

Na tabela 3.4 do livro Instalações de Ar condicionado, CREDER (1996) temos os valores do fator solar obtido por ensaios para esta parcela em BTU/h por pés quadrados de área de vidro, ou W/m², supondo-se a janela sem proteção; caso seja protegida por toldos ou persianas, devem-se multiplicar os valores obtidos, pelos seguintes coeficientes de redução:

- Toldos ou persianas externas: 0,18 – 0,20;
- Persianas internas e reflexoras: 0,58 – 0,67;
- Cortinas internas brancas (opacas): 0,43 – 0,49.

Com esses parâmetros determina-se a transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes, dada por:

$$q = A \times \text{fator} \quad (2.13)$$

Sendo:

A – área da superfície transparente [m²];

fator – fator solar (obtido na tabela) [BTU/h ou W/m²].

3.3.2 Transmissão de calor do sol através de superfícies opacas:

As paredes, lajes e telhados transmitem a energia solar para o interior dos recintos por condução e convecção, segundo a fórmula:

$$Q = A \times U [(t_e - t_i) + \Delta t] \quad (2.14)$$

Sendo:

A – área da superfície opaca [m²];

U – coeficiente global de transmissão de calor [W/m²°C];

t_e – temperatura externa [°C];

t_i – temperatura interna [°C];

Δt – acréscimo de temperatura devido à insolação [°C].

O fator Δt é mostrado na tabela 3.5 do livro Instalações de Ar Condicionado CREDER (1996), e representa um acréscimo diferencial de temperatura devido à exposição de uma determinada superfície opaca (geralmente uma parede) ao sol.

3.4 Carga Térmica Devido aos Dutos

Segundo CREDER (1996) o ar insuflado em um recinto condicionado retorna ao condicionador por meio da diferença de pressão que lhe é fornecida pelo ventilador. O retorno do ar pode ser feito de duas maneiras:

- Sob a forma de *plenum*, ou seja, utilizando um ambiente como o próprio recinto, um corredor, o teto rebaixado etc., como se fosse um condutor de ar;
- Utilizando dutos de retorno.

Porém o projetista do ar condicionado não tem como calcular a carga devido aos dutos porque esses só são projetados após o conhecimento da quantidade de ar a ser insuflada no recinto e a mesma depende da carga térmica.

Segundo CREDER (1996) o melhor caminho para resolver esse impasse é se estimar o traçado e as dimensões dos dutos, e, assim que se chegar à quantidade de ar a ser insuflado no recinto, e tendo-se calculado o sistema de dutos, fazer uma verificação para se constatar se a estimativa da carga térmica devida aos dutos foi adequada. Se estiver dentro de uma margem de 10% de erro, não há necessidade de se recalcular a carga térmica.

A carga térmica devido aos dutos é:

$$q = A \times U \times DT \quad (2.15)$$

Sendo:

q – carga térmica [W];

A – área lateral do duto exposta ao calor [m²];

U – coeficiente global de transmissão de calor [W/m²°C];

DT – diferencial de temperatura entre o ar exterior e o ar interior ao duto [°C].

Os coeficientes globais de transmissão de calor utilizados neste trabalho foram retirados da tabela 3.6 do livro Instalações de ar Condicionado CREDER (1996).

3.5 Carga Térmica Devido as Pessoas

A carga térmica devido às pessoas é dada pela NBR 16401, pelo calor sensível e latente liberado pelas pessoas em um determinado tipo de recinto, para uma determinada temperatura de bulbo seco das condições internas. Na tabela C.1 são apresentadas valores de calor sensível e latente liberado pelas pessoas em função da temperatura e da atividade para uma temperatura de bulbo seco de 24°C, porém é possível se calcular para qualquer temperatura de bulbo seco.

A carga térmica devido às pessoas é:

$$Q_{pessoas} = n \times (q_s + q_l) \quad (2.15)$$

Sendo:

n – número de pessoas na zona térmica;

q_s – calor sensível [W];

q_l – calor latente [W].

3.6 Carga Térmica Devido aos Equipamentos

A carga térmica devido aos equipamentos assim como a devido às pessoas é dada também pela NBR 16401, através de valores típicos de dissipação de calor (equipamentos de escritório, motores elétricos e outras fontes de calor e umidade), eficiência (motores elétricos) e potência dissipada (iluminação).

3.7 Carga Térmica Devido a Vazão de Ar Exterior

Existem motivos que justificam a renovação do ar de uma zona térmica como evitar o aumento da concentração de CO₂ e completar as perdas por frestas e aberturas do recinto. Essa renovação normalmente é feita ventilando ar exterior para o interior da zona térmica, porém o ar externo também penetra na zona térmica por frestas, portas, janelas e aberturas e é preciso avaliar a necessidade da ventilação tendo em vista que uma maior vazão de ar infiltrado torna desnecessária a ventilação de ar externo para renovação.

A penetração do ar externo por infiltração ou ventilação implica em um aumento da carga térmica da zona (sensível e/ou latente). No livro Instalações de Ar

Condicionado, CREDER (1996) são apresentadas duas formas de se estimar a vazão de ar por infiltração (método das trocas de ar e método das frestas), a vazão de ar por ventilação é calculada segundo a NBR 16401, devendo-se optar por uma das formas de se estimar a vazão ar infiltrado e comparar com a vazão de ar a ser ventilada e verificar se há necessidade ou não de ventilação.

Definida a vazão (de ventilação ou infiltração), calcula-se a carga térmica associada à vazão de ar exterior que é dada por:

$$q_s = Q \times 0,29(t_e - t_i) \quad (2.16)$$

Sendo:

q_s - calor sensível [W];

Q - vazão [m³/h];

T_e - temperatura externa [°C];

T_i - temperatura interna [°C].

$$q_l = 583 \times \gamma \times Q \times (UE_2 - UE_1) \quad (2.17)$$

Sendo:

q_l - calor latente [W];

γ - peso específico do ar [kg/m³];

Q - vazão [m³/h];

UE_2 - umidade específica do ar no interior [Kg/Kg];

UE_1 - umidade específica do ar na entrada [Kg/Kg].

3.7.1 Ventilação:

A vazão de ventilação segundo a NBR 16401 é definida por:

$$V_{ef} = P_z \times F_p + A_z \times F_a \quad (2.18)$$

Sendo:

V_{ef} - vazão eficaz de ar exterior [L/s];

F_p - vazão por pessoa [L/s x pessoa];

F_a - vazão por área útil ocupada [L/s . m²];

P_z - n° máximo de pessoas na zona de ventilação;

A_z - área útil ocupada pelas pessoas [m²].

Os valores a adotar para F_a e F_p estão estipulados na tabela 1 da NBR 16401.

Porém a vazão eficaz a ser adotada é calculada pela seguinte equação:

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z} \quad (2.19)$$

Sendo:

V_z - vazão de ar exterior a ser suprido na zona de ventilação [L/s];

E_z - eficiência da distribuição de ar na zona.

Os valores de E_z estão estipulados na tabela 2 da NBR 16401.

3.7.2 Infiltração:

A vazão de infiltração é definida por:

Segundo CREDER (1996) pelo método das trocas de ar a vazão é definida por:

$$Q = V \times n \quad (2.20)$$

V - volume da zona térmica [m³];

n - numero de trocas de ar [trocas/h].

O numero de trocas de ar é definido pela tabela 3.13 do livro Instalações de Ar Condicionado, CREDER (1996).

Segundo CREDER (1996) o ar se infiltra no ambiente pelas frestas (quando as portas estão fechadas), pelas portas (pelo movimento de pessoas entrando e/ou saindo do recinto) e pelas portas abertas.

A tabela 3.14 apresenta valores típicos de vazão de ar para os três casos, assim a vazão de ar por infiltração definida pelo método das frestas é dada por:

Ar pelas frestas:

$$Q_1 = l \times \text{fator} \quad (2.21)$$

Sendo:

l - comprimento de fresta [m];

fator - fator de infiltração [$\text{m}^3/\text{h} \times \text{m}$ de fresta].

Ar pelas portas:

$$Q_2 = n \times \text{fator} \quad (2.22)$$

Sendo:

n - numero de pessoas presentes na zona térmica;

fator - fator de infiltração [$\text{m}^3/\text{h} \times \text{pessoa}$].

Ar pelas portas abertas:

Na tabela 3.14 são fornecidos valores típicos para portas abertas.

A vazão de ar infiltrado calculada através do método das frestas é dada sendo a soma das vazões pelas frestas, portas e portas abertas.

4 ESTUDO DE CASO: CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA ATRAVÉS DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

O estudo em questão se baseia no cálculo da carga térmica já mencionada anteriormente utilizando como ferramenta o programa desenvolvido para cálculo de carga térmica no *Microsoft Excel Visual Basic*.

4.1 Dados da Zona Térmica

A zona térmica em questão é a sala 21 do Centro Tecnológico III da Universidade Federal do Espírito Santo. O ambiente está na cidade de Vitória, Hemisfério Sul (20°27' Latitude, 40°28' Longitude - Altitude de 4m) cujas condições externas estão na tabela A.6 da NBR 16401 (33,1 °C BS e 26,6 °C BU para uma frequência anual de 1%), sendo a variação da temperatura diária (*daily range*) de 8 °C.

4.1.1 Considerações a respeito do espaço físico

Para calcular a carga térmica da sala 21 do prédio do Centro Tecnológico III, foram utilizadas as seguintes considerações:

- Dimensões:
 - Paredes: pé direito de 2,80m e paredes noroeste e nordeste 12 e 6m respectivamente;
 - Teto: (laje de concreto areia e brita com 10cm de espessura e revestida com emboço com 2 cm internamente com filme exterior sem vento);
- Todas as paredes são de tijolo comum de uma vez com 15cm e revestida com emboço com 2cm interna e externamente;
- Filme de vento exterior de 24km/h;
- Dentro dos ambientes considerado ar parado;
- Não há influencia do piso;
- Sala com 40 alunos e 1 professor;
- Paredes de cor média.
- Equipamentos:
 - Iluminação: 12 lâmpadas fluorescentes;

- Ventiladores: 4 ventiladores de teto;
- Computadores: 10 computadores.
- Janelas: com dimensões de 12 x 1,5m;

4.2 Determinação da Carga térmica

4.2.1 Inserindo os Dados de Projeto

Ao abrir o programa o usuário encontrará a seguinte interface:

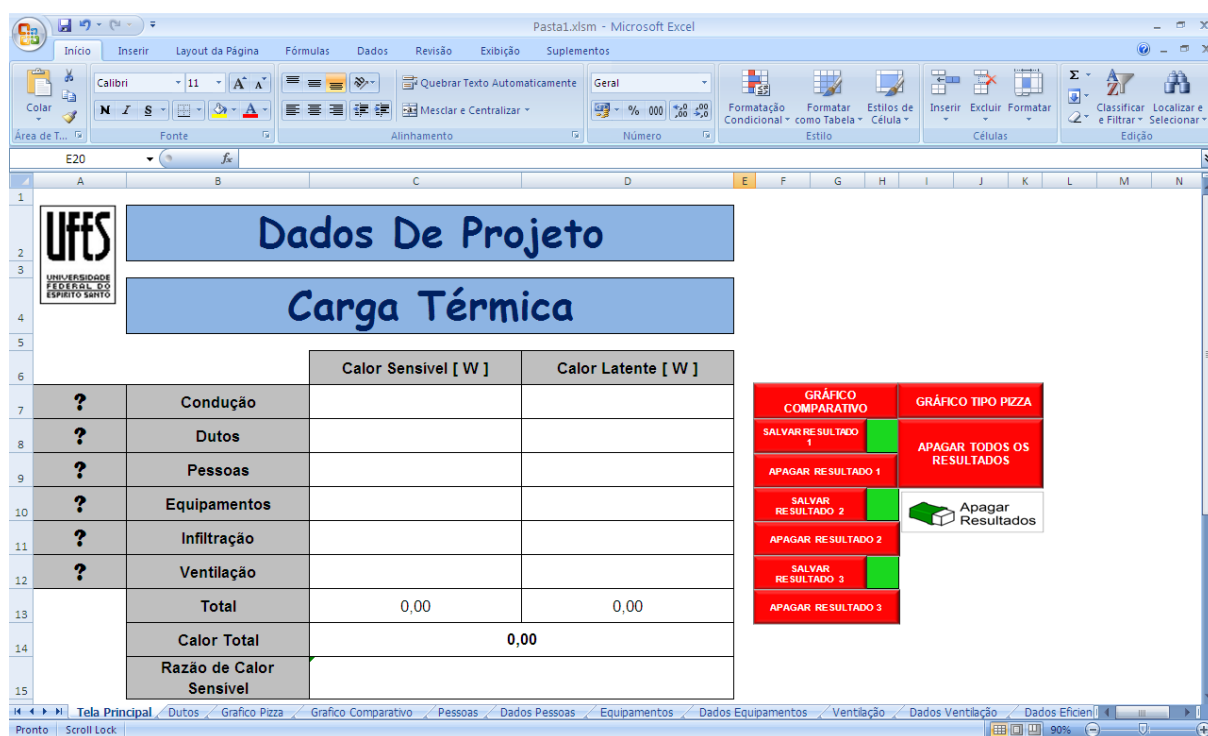


Figura 6 - Tela principal do programa

O primeiro passo para o cálculo da carga térmica é inserir os dados de projeto (que compreendem as características do verão local de acordo com a região escolhida) clicando no botão “Dados de Projeto”, conforme figura 7.

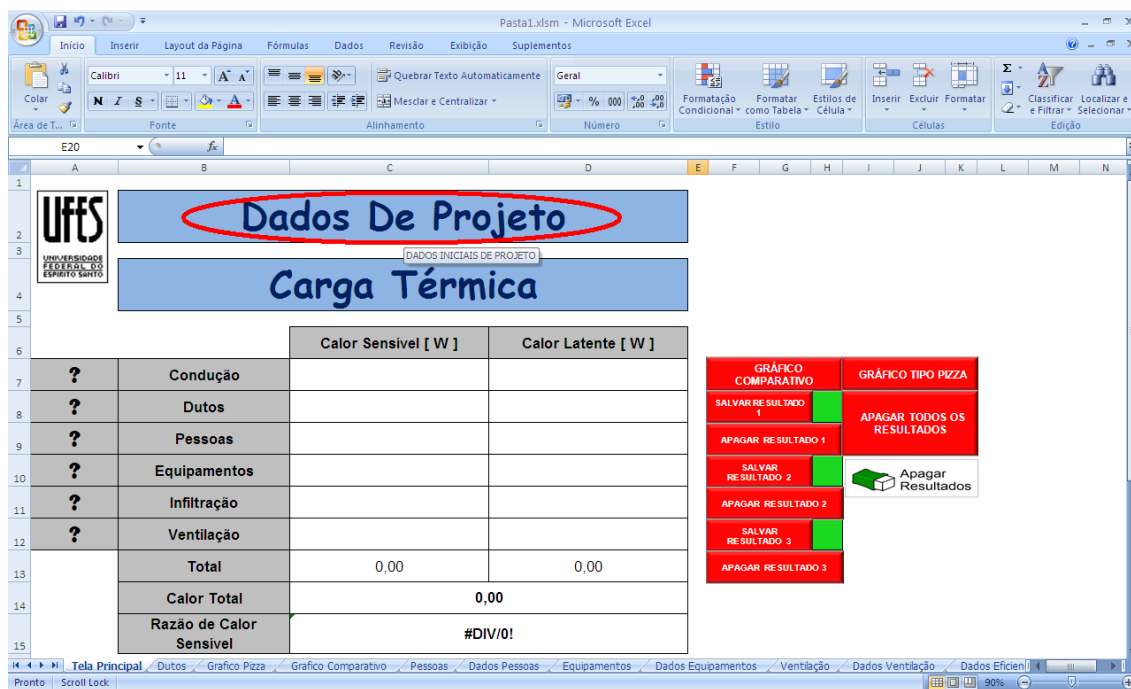


Figura 7 - Tela principal com botão "dados de projeto" em destaque

Ao selecionar a opção “Dados de Projeto” o usuário será direcionado a planilha que contempla as características do verão local onde ele terá a opção de selecionar a região geográfica aonde será calculada a carga térmica, conforme figura 8.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Pasta1.xlsm' file open. The 'Dados' tab is selected in the ribbon. The worksheet 'Características do Verão Local' is displayed. The table has the following structure:

Características do Verão Local				
Local	Latitude	Longitude	Altitude	Pressão Atmosférica [Kpa]
Mês Mais Quente			Tipo de Projeto	
Mês Mais Frio				
Temperaturas [°C]	Interior		Exterior	
Bulbo Seco				
Bulbo Úmido				
Ponto de Orvalho				
Umidade Absoluta [g/Kg ar seco]				
Umidade Relativa Do Ar				

On the right side of the worksheet, there is a vertical stack of buttons: 'VOLTAR TELA PRINCIPAL', 'SELECIONAR REGIÃO' (highlighted with a red circle), 'CALCULAR UMIDADE ABSOLUTA INTERIOR', 'ÁBACO DE CONFORTO PARA VERÃO', and 'Apagar Resultados'.

Figura 8 - Características do verão local

Para o caso apresentado neste trabalho a cidade selecionada foi Vitória - ES com a frequência anual de temperatura de 1%, figura 9.

Pasta1.xlsx - Microsoft Excel

Inicio
Inserir
Layout de Página
Fórmulas
Dados
Revisão
Exibição
Suplementos

Colar
Comic Sans MS - 18
Fonte
Alinhamento
Quebrar Texto Automaticamente
Formato
Formato
Estilos de Célula
Inserir
Excluir
Formatar
Classificar e Filtrar

Área de Títulos
Formato
Formato
Estilos de Célula
Inserir
Excluir
Formatar
Classificar e Filtrar

B191
Região Sudeste

1 2 3 4 69 150 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204

Dados Climáticos de Projeto

VOLTAR

Região Norte

Região Nordeste

Região Centro - Oeste

Região Sudeste

ES	Vitória		Latitude	Longitude	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem.	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s		
			20,27S	40,28W	4m	100,28	82/01	Anuais	30,6	36,8	1	14,3	1,7		
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês > Fr	Freq. Anual	Aquec			Umidificação	
		TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc			TBS	TPO	w	TBSc	
Fev	0,40%	34,0	25,5	27,0	30,1	26,2	21,6	28,1			16,5	12,8	9,2	21,0	
ΔTmd	1,00%	33,1	25,2	26,6	29,7	26,0	21,3	28,0			17,5	14,0	9,9	21,2	
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
MG	Belo Horizonte		Latitude	Longitude	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem.	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s		
		Panópolis	19,85S	43,95W	785m	92,24	82/01	Anuais	28,4						
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês > Fr	Freq. Anual	Aquec			Umidificação	
		TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc			TBS	TPO	w	TBSc	
Fev	0,40%	33,0	20,7	23,0	28,5	21,9	18,3	24,2			11,5	4,9	5,9	22,8	
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							
	0,4%	1,0%	2,0%												
	8,0	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5							

Figura 9 - Dados climáticos do local

Escolhida a cidade e a frequência anual de temperaturas, os dados automaticamente serão enviados a planilha de Dados de Projeto. No espaço preenchido em azul o usuário deve digitar a temperatura de bulbo seco da zona térmica definida em projeto. Nesse trabalho a temperatura selecionada foi de 22°C. Figura 10.

Características do Verão Local				
Local	Latitude	Longitude	Altitude	Pressão Atmosférica [Kpa]
Vitória	20,27S	40,28W	4m	100,28
Mês Mais Quente	Fevereiro		Tipo de Projeto	Comercial ou Residencial
Mês Mais Frio	Agosto			
Temperaturas [°C]	Interior		Exterior	
Bulbo Seco	22,0		33,1	
Bulbo Úmido			26,6	
Ponto de Orvalho			26,0	
Umidade Absoluta [g/Kg ar seco]			21,3	
Umidade Relativa Do Ar				

Figura 10 - Características do verão local para a cidade de Vitória

No circulo em azul da figura 10 o usuário terá a opção de selecionar valores sugeridos de umidade para conforto ou escolher no ábaco de conforto para verão a umidade para uma dada porcentagem de pessoas sentindo-se confortáveis. Figura 11.

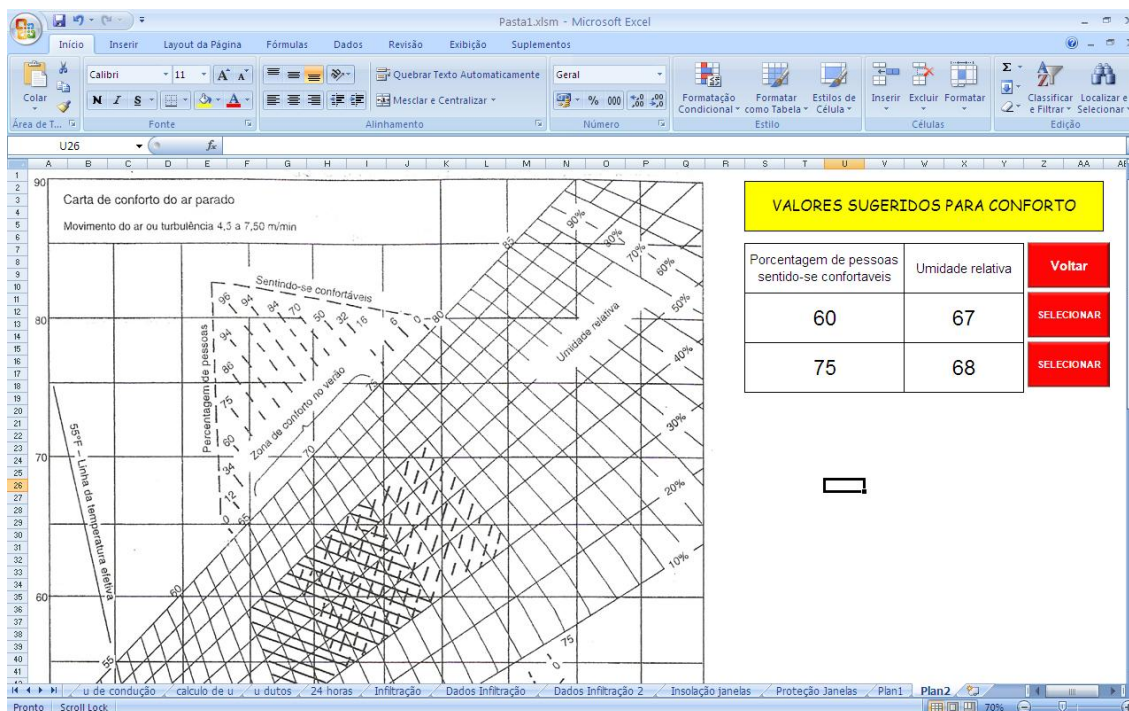
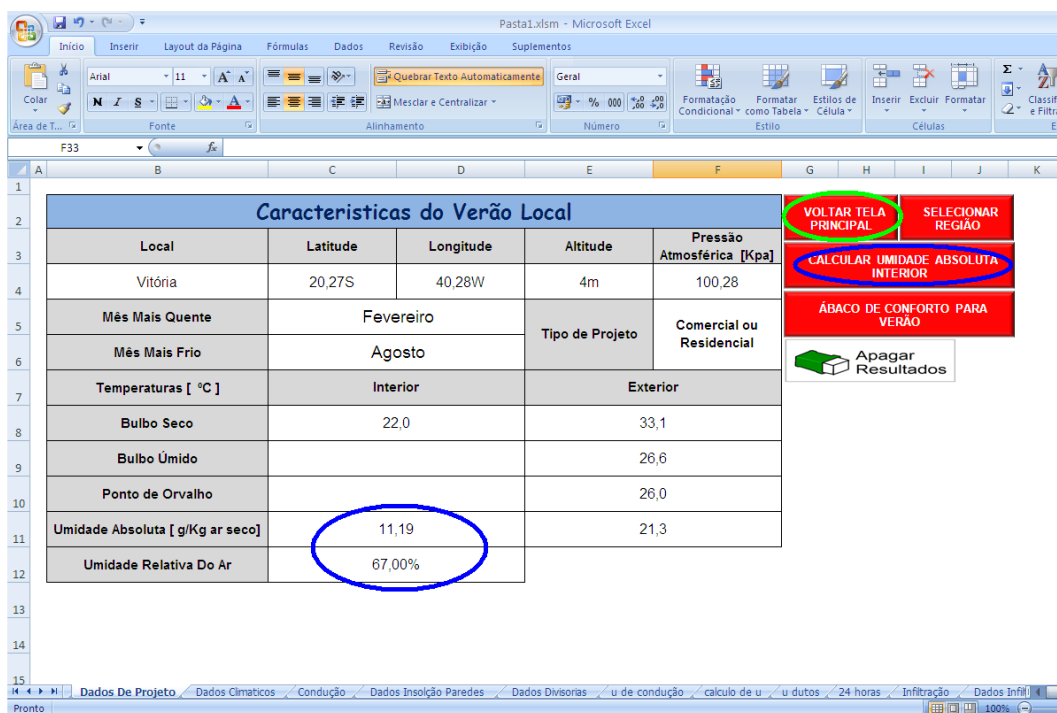


Figura 11 - Âbaco de conforto para verão e valores sugeridos de umidade

Nessa tela o usuário terá a opção de selecionar através dos botões ou voltar à tela anterior e digitar manualmente a umidade relativa. Para este estudo de caso foi selecionado a umidade relativa de 67% que proporciona o conforto de 60% das pessoas no recinto.

Selecionada a umidade relativa o usuário deve calcular a umidade absoluta interior selecionando o botão marcado em azul. Obtidos os resultados o usuário obtém as características do verão local e pode retornar a tela principal selecionando o botão marcado em verde. Figura 12.

Para a sala 21 a umidade absoluta encontrada é de 11,19 [g/kg de ar seco].



Pasta1.xlsm - Microsoft Excel

Características do Verão Local				
Local	Latitude	Longitude	Altitude	Pressão Atmosférica [Kpa]
Vitória	20,27S	40,28W	4m	100,28
Mês Mais Quente	Fevereiro		Tipo de Projeto	Comercial ou Residencial
Mês Mais Frio	Agosto			
Temperaturas [°C]	Interior		Exterior	
Bulbo Seco	22,0		33,1	
Bulbo Úmido			26,6	
Ponto de Orvalho			26,0	
Umidade Absoluta [g/Kg ar seco]	11,19		21,3	
Umidade Relativa Do Ar	67,00%			

Buttons in sidebar:

- VOLTAR TELA PRINCIPAL (Green)
- SELECIONAR REGIÃO (Red)
- CALCULAR UMIDADE ABSOLUTA INTERIOR (Blue)
- ÁBACO DE CONFORTO PARA VERÃO (Red)
- Apagar Resultados (Green)

Bottom tabs: Dados De Projeto, Dados Climáticos, Condução, Dados Insolação Paredes, Dados Divisorias, u de condução, cálculo de u, u dutos, 24 horas, Infiltração, Dados Infil

Figura 12 - Características do verão local e cálculo da umidade relativa interior

Definidas as características do verão local o próximo passo é inserir os dados relativos à carga térmica de condução selecionando o botão “Condução” marcado em azul. Figura 13.

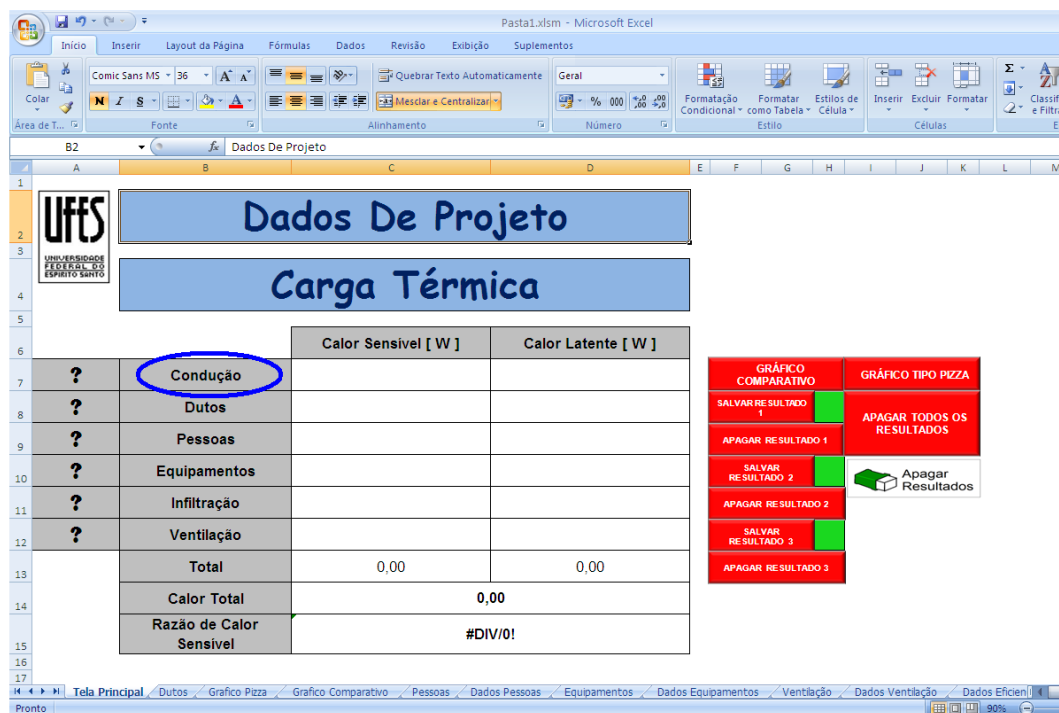


Figura 13 - Tela principal com o botão "condução" em destaque

4.2.2 Carga Térmica de Condução

Dentro do menu condução, o primeiro passo é escolher a orientação das paredes segundo a rosa dos ventos (círculo verde) e em seguida deve ser escolhida a coloração das paredes (retângulo azul escuro). A partir daí devem ser escolhidas as paredes que sofrem ou não efeitos da radiação solar (retângulo roxo) e no caso de resposta positiva o programa automaticamente calcula o diferencial de temperatura devido à radiação. A área de cada parede deve ser digitada como mostrada no espaço delimitado pelo retângulo em verde.

A orientação adotada para a sala 21 foi a opção 2 (nordeste, sudeste, noroeste e sudoeste), a coloração das paredes adotada foi a média, apenas as paredes nordeste e noroeste sofrem efeitos da radiação solar e a área das mesmas foi digitada.

Terminados esses passos pode-se partir para seleção dos coeficientes globais de transferência de calor U, selecionando o botão mostrado pelo retângulo azul claro. Figura 14.

Superfície	Cor	Radiação	ΔT devido a radiação	U [Kcal/h.m².C]	Tipo	Área [m²]	Carga Térmica
Parede Nordeste	Média	Sim	8,3			16,80	
Parede Sudeste	Média	Não	0,0			33,60	
Parede Sudoeste	Média	Não	0,0			16,80	
Parede Noroeste	Média	Sim	8,3			15,60	
CARGA TÉRMICA TOTAL							

Figura 14 - Menu condução

A figura 15 mostra as possibilidades de coeficientes globais de transferência de calor para paredes típicas externas e internas, vale salientar que também é possível selecionar coeficientes globais de transferência de calor para janelas e divisórias.

No caso abordado será calculado o coeficiente global de transferência para uma parede não convencional.

COEFICIENTES GLOBAIS DE TRANSMISSÃO DE CALOR PARA PAREDES E VIDROS MAIS COMUNS		
Elementos	U [Kcal/h.m².°C]	
Paredes Externas		
Tijolos maciços (20x10x6 cm):		
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,88	SELECIONAR
Uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,95	SELECIONAR
Tijolos Furados (20x20x10 ou 20x10x6 cm):		
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,59	SELECIONAR
Uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,90	SELECIONAR
Paredes Internas		
Tijolos maciços (20x10x6 cm):		
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,29	SELECIONAR
meia-vez (10 cm) = 6 tijolos + 2 revestimentos	2,68	SELECIONAR
Uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,66	SELECIONAR

Figura 15 - Coeficientes globais de transmissão de calor U

Para o cálculo de um coeficiente global de transmissão de calor para uma parede não convencional o primeiro passo é selecionar o tipo de filme de ar exterior (retângulo verde), a seguir selecionar as camadas da parede (retângulo amarelo) e por fim calcular o coeficiente (retângulo azul escuro).

Calculado o coeficiente deve se optar para qual tipo de parede é o coeficiente (retângulo azul claro), se para paredes externas ou internas, e o programa se encarrega de enviar os dados das respectivas paredes para a planilha de condução.

Nesse caso as características das paredes foram selecionadas conforme supracitado e o coeficiente encontrado é de 0,88 [kcal/h. m². °C]. Figura 16.

Projeto Definitivo.xlsm - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2		Filme de ar exterior	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	U [Kcal/h·m ² ·°C]								
3		Ar a 24 Km/h	Emboço ou reboco (2cm)	Tijolo comum (uma vez)	Emboço ou reboco (2cm)										
4		29,3	2,39	1,11	2,39		0,88								
5		NÚMERO OU TAMANHO DAS CAMADAS (m)	1,000	0,150	1,000										
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															
61															
62															
63															
64															
65															
66															
67															
68															
69															
70															
71															
72															
73															
74															
75															
76															
77															
78															
79															
80															
81															
82															
83															
84															
85															
86															
87															
88															
89															
90															
91															
92															
93															
94															
95															
96															
97															
98															
99															
100															

Figura 16 - Cálculo do coeficiente global de transmissão de calor U para paredes não convencionais

Após calcular o coeficiente U para as paredes externas, internas e teto a carga de condução é calculada automaticamente selecionando- se o botão “calcular carga térmica” e os resultados são demonstrados no campo correspondente (retângulo verde). A carga térmica total de condução pelas paredes é apresentada como a soma das cargas térmicas das paredes individualmente (retângulo azul).

Para a sala 21 o ganho total de carga térmica por condução pelas paredes é de 1177,95 W. Como mostra a Figura 17.

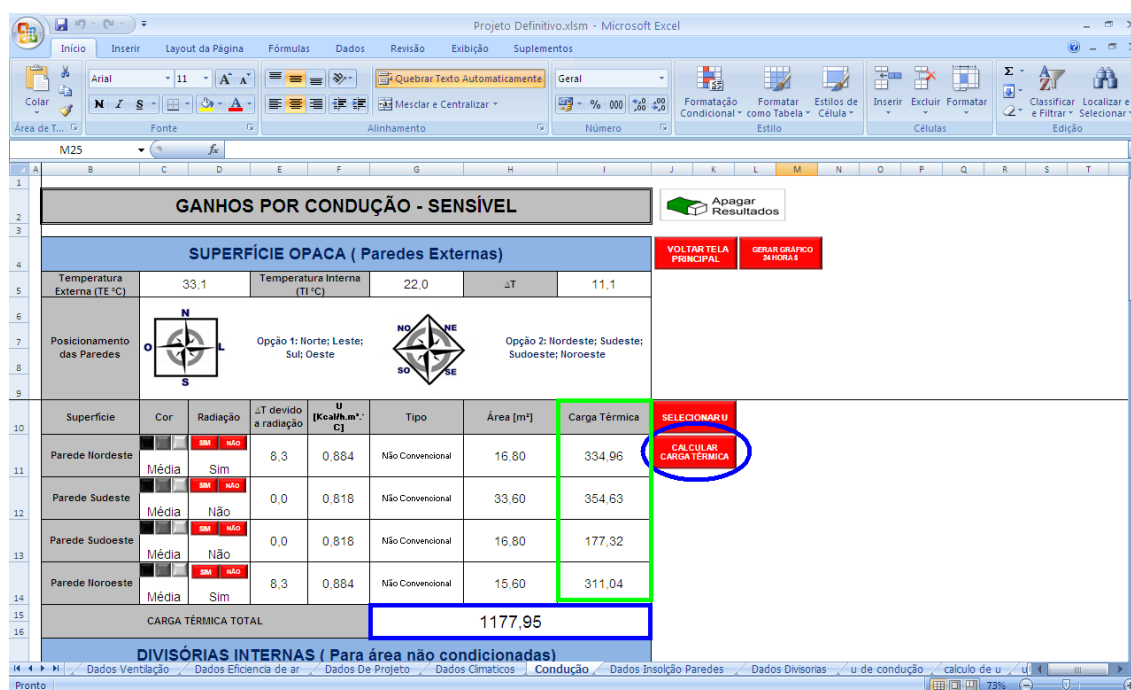


Figura 17 - Ganho de carga térmica de condução pelas paredes

Terminada a etapa das paredes, e ainda no menu condução, o próximo passo é calcular a carga térmica devida a divisórias internas.

O coeficiente U desta etapa já foi determinado na etapa anterior, porém devem ser preenchidos os respectivos valores de área e selecionados os tipos de divisórias. Figura 18.

GANHOS POR CONDUÇÃO - SENSÍVEL

SUPERFÍCIE OPACA (Paredes Externas)

Temperatura Externa (TE °C): 33,1 Temperatura Interna (TI °C): 22,0 ΔT: 11,1

Posicionamento das Paredes: Opção 1: Norte; Leste; Sul; Oeste Opção 2: Nordeste; Sudeste; Sudoeste; Noroeste

DIVISÓRIAS INTERNAS (Para área não condicionadas)

DIVISÓRIAS INTERNAS	Tipo	Área [m²]	U [Kcal/h.m².°C]	ΔT	Carga Térmica
PARDE					
VIDROS					
PISO					
TETO		72,00	1,36		
CARGA TÉRMICA TOTAL					

Botões de ação: SELECIONAR TIPO, SELECIONAR U, CALCULAR CARGA TÉRMICA

Barra de navegação: Dados Ventilação, Dados Eficiência de ar, Dados De Projeto, Dados Climáticos, **Condução**, Dados Insolação Paredes, Dados Divisorias, u de condução, calculo de u

Figura 18 - Ganho de carga térmica de condução por divisórias internas e teto

A figura 19 mostra os tipos de divisórias internas disponíveis para seleção. Basta selecionar a divisória adequada que o programa se encarrega de transportar os dados para a planilha de condução.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Pastal1.xlsm'. The 'Exibição' (Display) tab is active in the ribbon. The spreadsheet contains a table with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
8		Nas divisórias	5,5	SELECIONAR									
9		Vitrinas de lojas com grande carga de luz	16,6	SELECIONAR									
10		Pisos											
11		Sobre recintos não condicionados	5,5	SELECIONAR									
12		Do térreo	0	SELECIONAR									
13		Sobre Porão	0	SELECIONAR									
14		Sobre Porão com cozinha, lavanderias ou aquecedores	19,4	SELECIONAR									
15		Sobre espaços ventilados	9,4	SELECIONAR									
16		Sobre espaços não ventilados	0	SELECIONAR									
17		Tetos											
18		Sobre espaços não condicionados	5,5	SELECIONAR									
19		sobre espaços com cozinhas, lavanderias e aquecedores	11,1	SELECIONAR									
20		Sob telhados com ou sem sótão	9,4	SELECIONAR									

The 'SELECIONAR' buttons are red with white text. The 'Tetos' section is highlighted with a blue background. The spreadsheet is part of a larger project, as indicated by the tabs at the bottom: 'Dados Ventilação', 'Dados Eficiência de ar', 'Dados De Projeto', 'Dados Climáticos', 'Condução', 'Dados Insolação Paredes', 'Dados Divisórias', 'u de condução', 'cálculo de u', and 'u de condução'.

Figura 19 - Divisórias internas e tetos

A zona térmica abordada neste trabalho não apresenta divisórias internas de nenhum tipo e como já dito anteriormente a carga térmica devida aos ganhos de condução pelo piso foi desconsiderada restando apenas nesta etapa o cálculo do ganho de carga térmica pelo teto.

Segundo CREDER (2006) os valores diferenciais de temperatura são baseados numa diferença de temperatura de $9,4^{\circ}\text{C}$, entre a temperatura externa e o recinto selecionado. Portanto a temperatura transportada para a planilha é automaticamente acrescida da diferença de temperatura real pela adotada na tabela.

A carga total de divisórias é apresentada na figura 20 e para o teto da sala 21 que apresenta uma área de 72 m^2 a carga térmica de condução é de $1260,81\text{ W}$.

GANHOS POR CONDUÇÃO - SENSÍVEL

SUPERFÍCIE OPACA (Paredes Externas)

Temperatura Externa (T_e °C)	33,1	Temperatura Interna (T_i °C)	22,0	ΔT	11,1
Posicionamento das Paredes	<p>Opção 1: Norte; Leste; Sul; Oeste</p> <p>Opção 2: Nordeste; Sudeste; Sudoeste; Noroeste</p>				

DIVISÓRIAS INTERNAS (Para área não condicionadas)

DIVISÓRIAS INTERNAS	Tipo	Área [m^2]	U [$\text{Kcal/h.m}^2\text{.}^{\circ}\text{C}$]	ΔT	Carga Térmica
PAREDE					0,00
VIDROS					0,00
PISO					0,00
TETO	Sob telhados com ou sem sotão	72,00	1,36	11,1	1260,81
CARGA TÉRMICA TOTAL					1260,81

Botões de Ação: VOLTAR TELA PRINCIPAL, GERAR GRÁFICO 24 HORAS, SELECIONAR TIPO, SELECIONAR U, CALCULAR CARGA TÉRMICA.

Figura 20 - Ganho de carga térmica de condução por divisórias internas e teto

Para o cálculo da insolação direta em superfícies transparentes devem-se escolher as superfícies que recebem insolação, digitar a área no campo correspondente, escolher o tipo de proteção nas janelas (figura 21), selecionar o fator solar (figura 22) e por fim calcular a carga térmica.

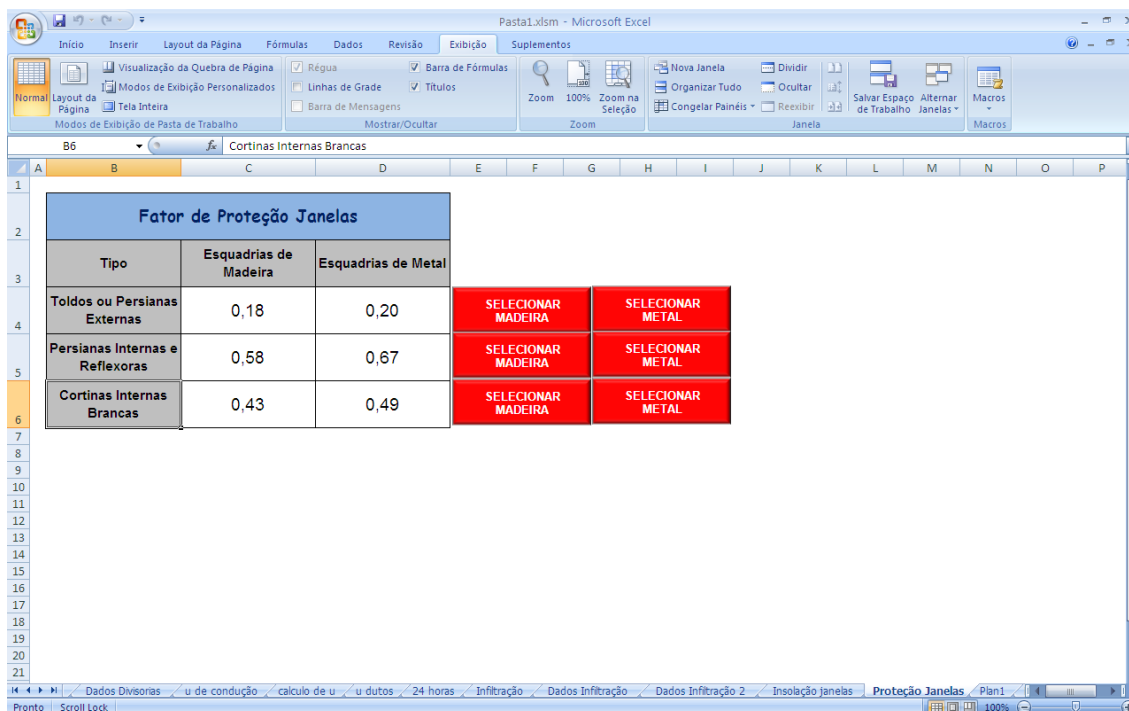


Figura 21 - Tipo de proteção nas janelas

22 54' Latitude Sul		FATOR SOLAR DE ÁREAS DE VIDROS [Kcal/h.m²]														FINALIZAR	
Verão	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONADO
Hora Local	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	Dia do ano
Dia Do Ano	Face do Prédio	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Hora
20 FEB	S	16	24	30	35	38	38	38	38	38	35	35	24	16			15
23 OUTUBRO	SE	141	342	307	214	103	43	38	38	38	35	35	22	5			
	E	168	415	488	440	285	138	38	38	38	35	35	22	5			
	NE	92	269	342	334	304	187	79	41	38	35	35	22	5			
	N	5	22	33	52	84	106	114	106	84	52	38	22	5			
	NO	5	22	30	35	38	41	79	187	304	334	331	269	92			
	O	5	22	30	35	38	38	38	152	285	440	448	415	168			
	SO	5	22	30	35	38	38	38	43	103	214	269	342	168			
	CLARABÓIA	16	138	320	472	597	662	692	662	597	472	372	138	16			
	S	0	16	30	35	38	38	38	38	38	35	35	16	0			
	SE	0	225	255	136	49	38	38	38	38	35	35	16	0			
	E	0	366	458	426	309	133	38	38	38	35	35	16	0			
	NE	0	285	385	418	369	274	147	52	38	35	35	16	0			
	N	0	24	57	128	179	220	228	220	179	128	73	24	0			
	NO	0	16	30	35	38	41	79	187	304	334	331	269	92			

Figura 22 - Fator solar

A área das janelas na sala 21 é de 18m², o fator de proteção escolhido foi o mais próximo da realidade que é o que corresponde a cortinas internas brancas e o

fator solar foi escolhido o do mês de fevereiro por representar o mês mais quente do ano na cidade de Vitória a fim de atender quaisquer picos de demanda de carga térmica.

O ganho total de carga térmica por superfícies transparentes (janelas) da sala 21 é de 1926,35 W como mostra a figura 23.

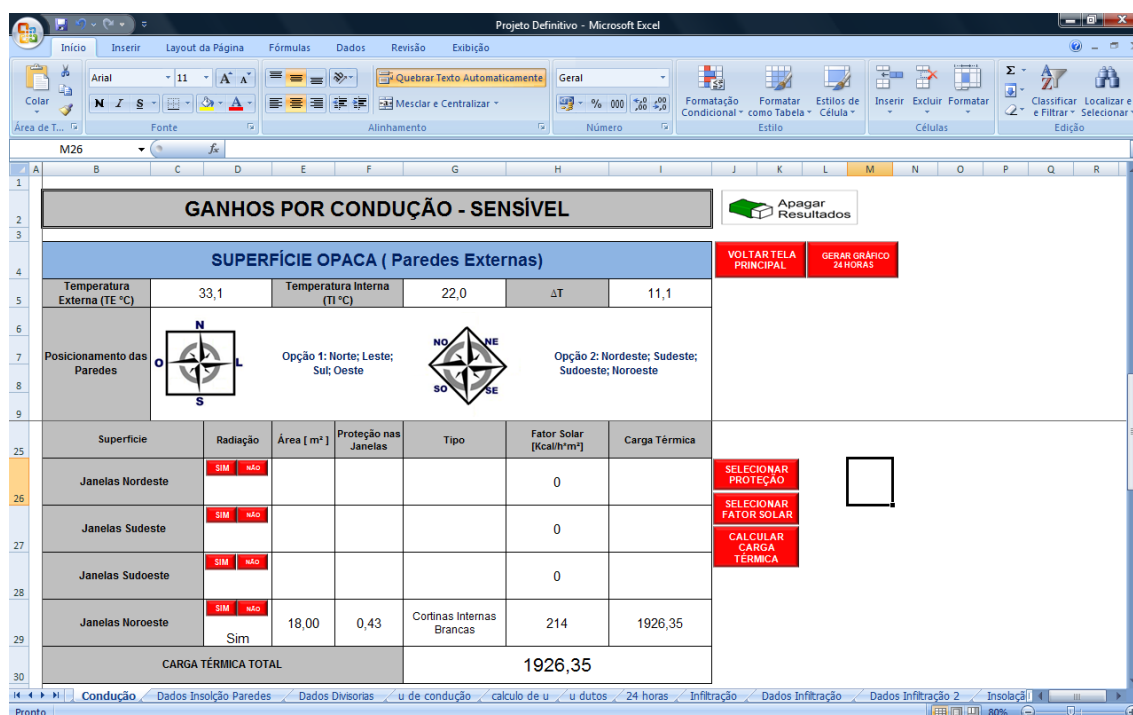


Figura 23 - Ganho de carga térmica de condução por superfícies transparentes

Definida a carga térmica total de condução, é interessante avaliar a evolução da mesma ao longo das 24 horas do dia. Multiplicando a fração da variação média diária da temperatura (tabela A.2 da NBR 16401) pela variação média de temperatura diária do mês mais quente e subtraindo-se esse resultado da temperatura de bulbo seco obtém-se a variação da temperatura e consequentemente da carga térmica por hora do dia.

O botão “gerar gráfico 24 horas” possibilita a análise gráfica da temperatura, e carga térmica ao longo de um dia.

A figura 24 ilustra essa análise para temperatura:

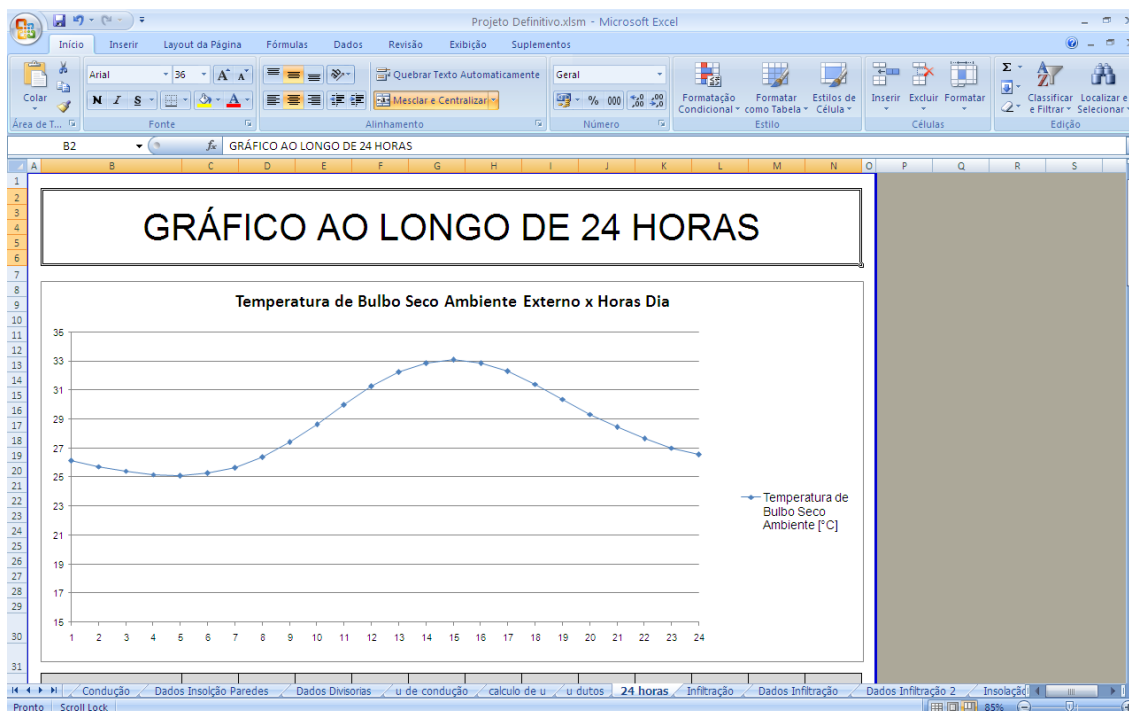


Figura 24 - Gráfico da variação da TBS ao longo do dia

A figura 25 ilustra essa análise para a carga térmica.

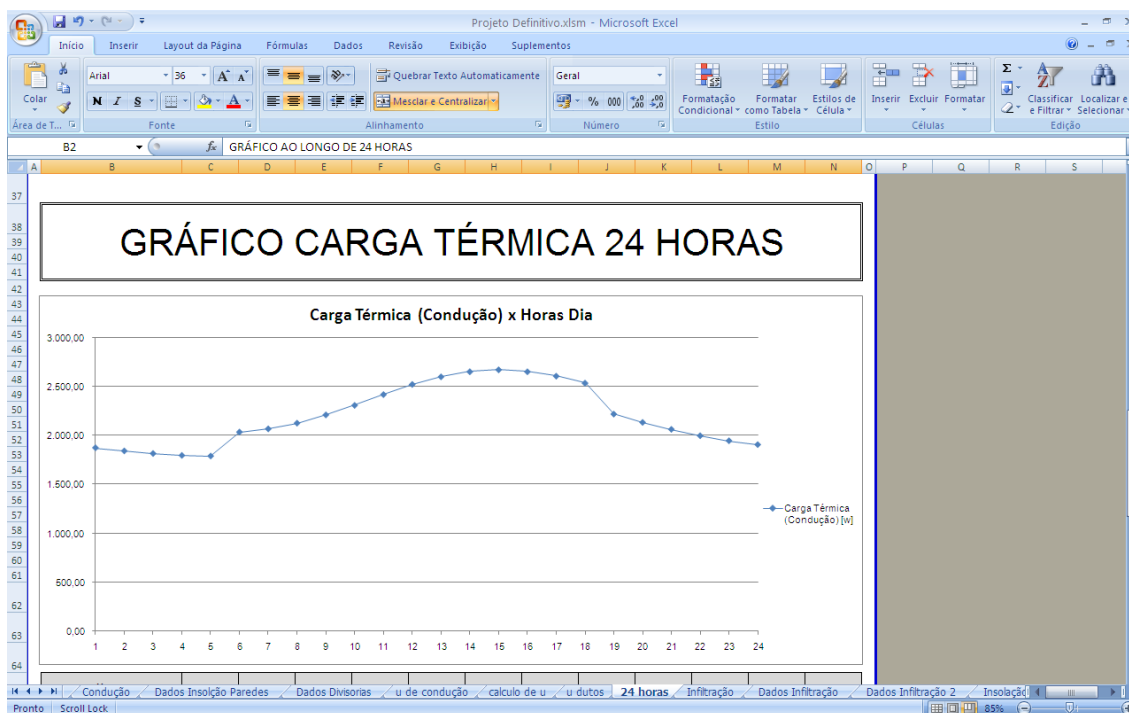


Figura 25 - Variação da carga térmica ao longo do dia

4.2.3 Carga Térmica devido aos Dutos

Os ganhos de carga térmica por dutos são calculados digitando as dimensões do duto, selecionando o coeficiente U para o tipo de material do duto (figura 26), e digitando a diferença de temperatura. Conforme figura 27.

Nesse estudo não há a presença de dutos.

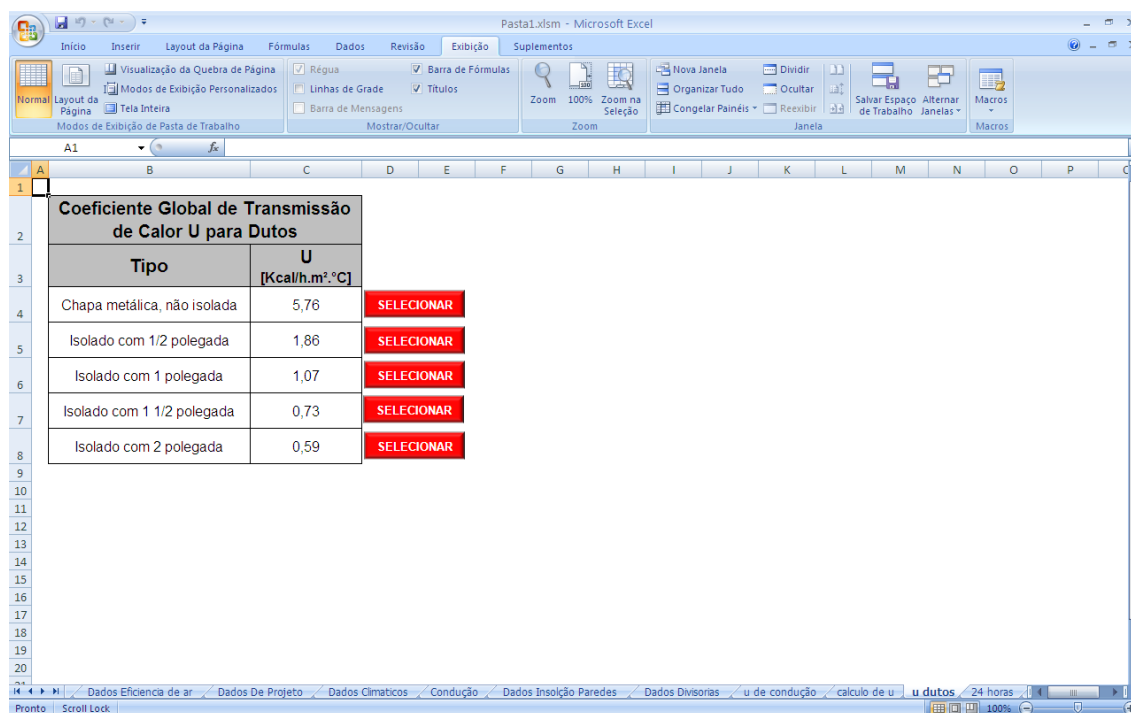


Figura 26 - Coeficiente global de transmissão de calor para dutos

Projeto Definitivo.xlsm - Microsoft Excel

Área de T... Fonte Alinhamento Número Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar Edição

A1

GANHOS POR DUTOS - CALOR SENSÍVEL

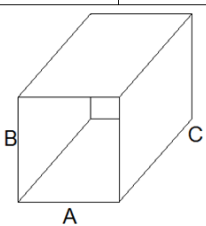
Apagar Resultados

Dimensões [m]	Área [m ²]	U [Kcal/h.m ² .°C]	Dt [°C]	Calor Sensível [w]
A B C	2°C*(A+B)			
Total dos Dutos	0,00	0,00	0	0,00

VOLTAR A TELA PRINCIPAL

SELECIONAR U

CALCULAR CARGA TÉRMICA DUTOS



Tela Principal Dutos Grafico Pizza Grafico Comparativo Pessoas Dados Pessoas Equipamentos Dados Equipamentos Ventilação Dados Ventilação Dados Eficien

Pronto

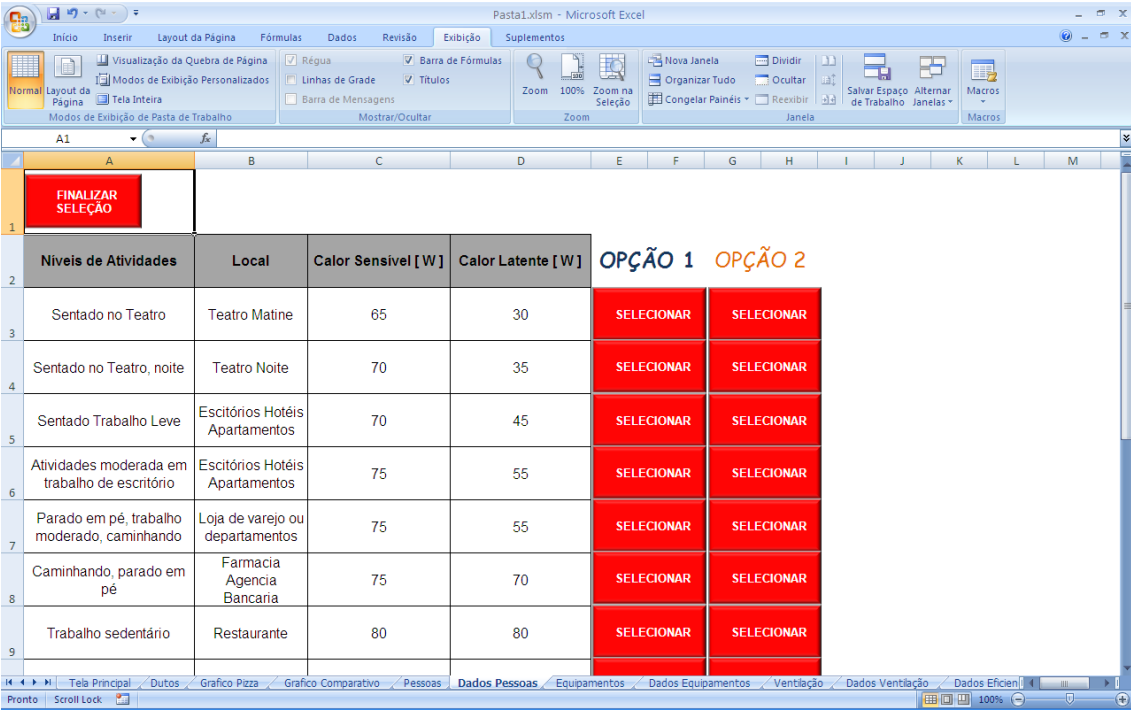
Figura 27 - Ganhos de carga térmica por dutos

4.2.4 Carga Térmica de Ocupantes

Os ganhos de carga térmica por ocupantes são calculados digitando-se a quantidade de pessoas e classificando-as em dois níveis de atividade, sexo e idade.

No caso apresentado temos 40 pessoas (alunos) sentadas e o nível de atividade selecionado foi “sentado no teatro”, para o professor a atividade selecionada foi “parado em pé, trabalho moderado, caminhando” (figura 28). O programa se encarrega de calcular a carga térmica para cada atividade e a total (figura 29).

Para a sala 21 o ganho de carga térmica por ocupantes é de 4119,33 W.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	FINALIZAR SELEÇÃO												
2	Níveis de Atividades	Local	Calor Sensível [W]	Calor Latente [W]	OPÇÃO 1	OPÇÃO 2							
3	Sentado no Teatro	Teatro Matine	65	30	SELECIONAR	SELECIONAR							
4	Sentado no Teatro, noite	Teatro Noite	70	35	SELECIONAR	SELECIONAR							
5	Sentado Trabalho Leve	Escritórios Hotéis Apartamentos	70	45	SELECIONAR	SELECIONAR							
6	Atividades moderada em trabalho de escritório	Escritórios Hotéis Apartamentos	75	55	SELECIONAR	SELECIONAR							
7	Parado em pé, trabalho moderado, caminhando	Loja de varejo ou departamentos	75	55	SELECIONAR	SELECIONAR							
8	Caminhando, parado em pé	Farmacia Agencia Bancaria	75	70	SELECIONAR	SELECIONAR							
9	Trabalho sedentário	Restaurante	80	80	SELECIONAR	SELECIONAR							

Figura 28 - Níveis de atividade

Pasta1.xlsm - Microsoft Excel

Exibição

Visualização da Quebra de Página, Modos de Exibição Personalizados, Tela Inteira, Modos de Exibição de Pasta de Trabalho

Réguas, Linhas de Grade, Barra de Fórmulas, Títulos, Barra de Mensagens, Mostrar/Ocultar

Zoom 100%, Zoom na Seleção

Nova Janela, Organizar Tudo, Congelar Painéis, Dividir, Ocultar, Reexibir, Salvar Espaço de Trabalho, Alternar Janelas

Macros

J18

GANHOS POR PESSOAS - CALOR SENSÍVEL E LATENTE

	Quantidade de Pessoas			Temperatura de Bulbo Seco do Ambiente	Selecionar Nível de Atividade	VOLTAR A TELA PRINCIPAL	SELECIONAR NÍVEL DE ATIVIDADE
	Homens	Mulheres	Crianças				
Opção 1	40	0	0	22,0	Sentado no Teatro	APAGAR DADOS	
Opção 2	1	0	0		Parado em pé, trabalho moderado, caminhando		

RESULTADOS [W]			
Opção 1	SENSÍVEL	2946,67	CALCULAR
	LATENTE	1040,00	
Opção 2	SENSÍVEL	85,00	CALCULAR
	LATENTE	47,67	
TOTAL SENSÍVEL		3031,67	Apagar Resultados
TOTAL LATENTE		1087,67	
TOTAL		4119,33	

Tela Principal, Dutos, Grafico Pizza, Grafico Comparativo, Pessoas, Dados Pessoas, Equipamentos, Dados Equipamentos, Ventilação, Dados Ventilação, Dados Eficien

Pronto, Scroll Lock

Figura 29 - Ganhos de carga térmica por ocupantes

4.2.5 Carga Térmica de Equipamentos

Para os ganhos de carga térmica devido aos equipamentos o programa oferece até dez opções de tipos equipamentos diferentes. Selecionados os equipamentos (figura 30) basta digitar a quantidade e calcular a carga térmica. Como ilustrado na figura 31.

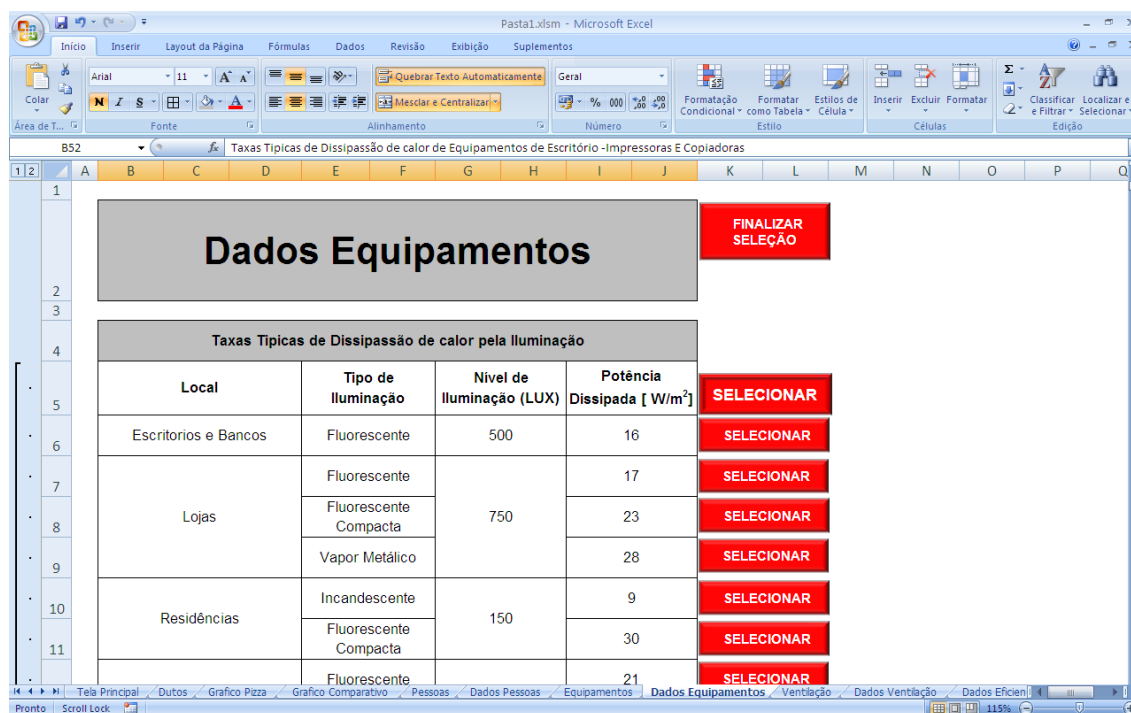


Figura 30 - Tipos de equipamento

Projeto Definitivo - Microsoft Excel

Área de T... Fonte Alinhamento Número

Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula

Inserir Excluir Formatar Células

Classificar Localizar e Filtrar Selecionar e Editar

GANHOS POR EQUIPAMENTOS - Sensível - Latente						
Equipamentos	Tipo	Quantidade	Potência	Sensível	Latente	
Iluminação	Fluorescente	12	16,00	192,00	0,00	
Computador	Valor Médio	10	20,00	200,00	0,00	
Monitor	Pequeno (13 a 15 Pol)	10	55,00	550,00	0,00	
Motor e Equipamento Dentro	Motor Elétrico	4	0,16	1344,00	0,00	

VOLTAR TELA PRINCIPAL CALCULAR CARGA TÉRMICA

SELECIONAR EQUIPAMENTOS Apagar Resultados

Tela Principal Dutos Gráfico Pizza Gráfico Comparativo Pessoas Dados Pessoas Equipamentos Dados Equipamentos Ventilação Dados Ventilação Dados Efici

Pronto 100%

Figura 31 - Ganhos de carga térmica por equipamentos

Para a sala 21 o ganho total de carga térmica por equipamentos é de 2286

W.

4.2.6 Carga Térmica de Infiltração

Para o cálculo da carga térmica associado à vazão de ar infiltrado o programa apresenta tanto o cálculo através do método das frestas quanto o cálculo pelo método da troca de ar. Cabe ao usuário decidir por qual método será calculado.

Para o método das frestas basicamente deve-se preencher os valores dos comprimentos das frestas das portas e janelas e selecionar no caso das janelas o tipo de abertura e o ajuste adequado. Para as portas deve ser selecionado o ajuste correspondente. Figura 32.

Ainda no método das frestas há a opção do cálculo da infiltração do ar exterior de acordo com a ocupação e finalidade do ambiente. Para tanto, basta selecionar a finalidade do ambiente e de acordo com o número de pessoas a carga equivalente será calculada. Figura 33.

Caso o recinto mantenha algum tipo de porta aberta basta selecionar a largura da porta e o programa relacionará com a vazão de infiltração de ar equivalente. Como mostra a figura 34.

A figura 35 mostra o cálculo da infiltração pelo método das frestas. Para a sala 21, que apresenta quatro janelas cada uma com duas frestas medindo 1,1m, uma porta com uma fresta de 0,8m e o número de pessoas (40 alunos e 1 professor) que já foi abordado anteriormente a carga térmica associada a vazão de ar infiltrado é de 20709,95 W.

Pasta1.xlsm - Microsoft Excel

ENCERRAR SELEÇÃO			
Infiltração de Ar Exterior (Portas e Janelas)			
Tipo de Abertura	Observação	Q (m³/h por metro de Fresta)	
Janelas			
Comum		3,0	SELECIONAR
Basculante		3,0	SELECIONAR
Guilhotina com caxilho de madeira	Mai Ajustada	6,5	SELECIONAR
	Bem Ajustada	2,0	SELECIONAR
Guilhotina com caxilho metálico	Sem Vedação	4,5	SELECIONAR
	Com Vedação	1,8	SELECIONAR
Porta			
Mai Ajustada		13,0	SELECIONAR
Bem Ajustada		6,5	SELECIONAR
Ar Pelas Portas Referentes a Local			

Condução Dados Infiltração Paredes Dados Divisórias u de condução calculo de u u dutos 24 horas Infiltração Dados Infiltração Dados Infiltração 2 Infiltração 100%

Figura 32 - Tipos de aberturas e ajustes para portas e janelas

Pasta1.xlsm - Microsoft Excel

Ar Pelas Portas Referentes a Local			
Local	m³ por pessoa Presente no Recinto Condicionado		
	Porta Giratória (1,80 m)	Porta Vaivém (0,90 m)	
Bancos	11	14	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Barbearias	7	9	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Drogarias e Farmácias	10	12	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Escritórios de Corretagem	9	9	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Escritórios Privados		4	SELECIONAR (Vaivém)
Escritórios em Geral		7	SELECIONAR (Vaivém)
Lojas de Cigarros	32	51	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Lojas em Geral	12	14	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Quartos de Hospitais		7	SELECIONAR (Vaivém)
Restaurantes	3	4	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)
Salas de Chá ou Café	7	9	SELECIONAR (Giratória) SELECIONAR (Vaivém)

Condução Dados Infiltração Paredes Dados Divisórias u de condução calculo de u u dutos 24 horas Infiltração Dados Infiltração Dados Infiltração 2 Infiltração 100%

Figura 33 - Tipos de porta e finalidade do ambiente

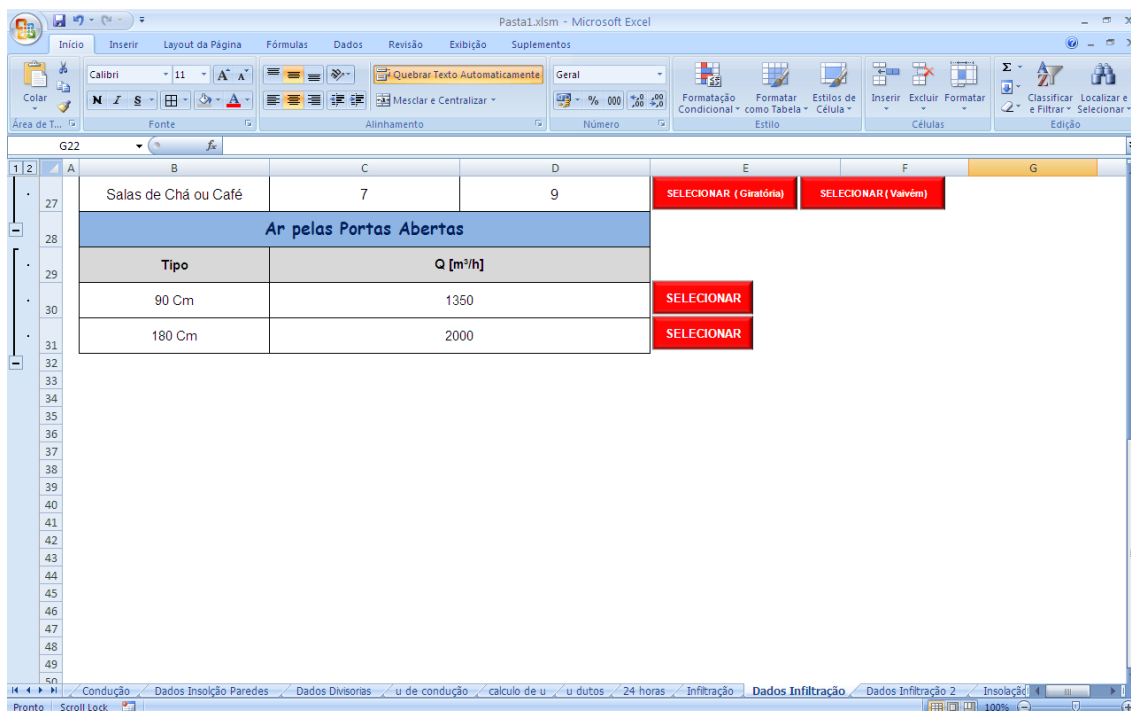


Figura 34 - Tipos de portas abertas

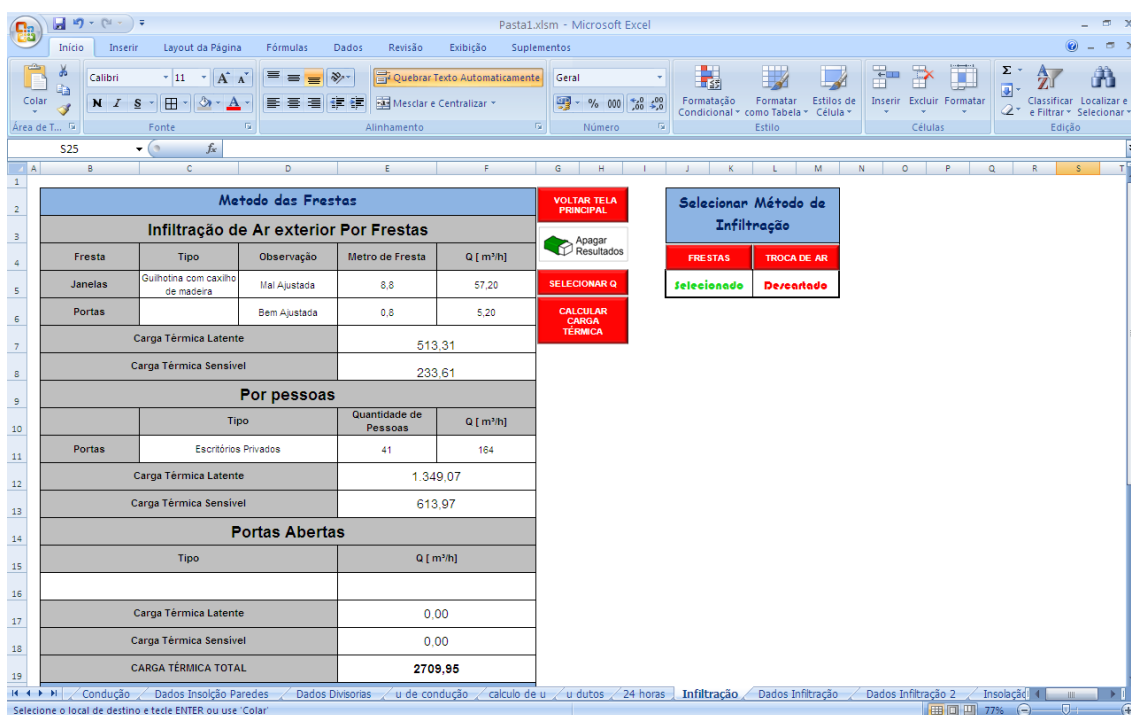


Figura 35 - Ganho de carga térmica por infiltração de ar exterior

Pelo método da troca de ar basta selecionar as janelas e portas existentes (figura 36), preencher o volume da zona térmica e a vazão e carga térmica são obtidas. Figura 37.

A sala 21 possui um volume de $201,6\text{m}^3$ e janelas na parede noroeste resultando em um ganho de carga de $1132,09\text{ W}$ por este método. A porta foi considerada uma abertura para um ambiente interior.

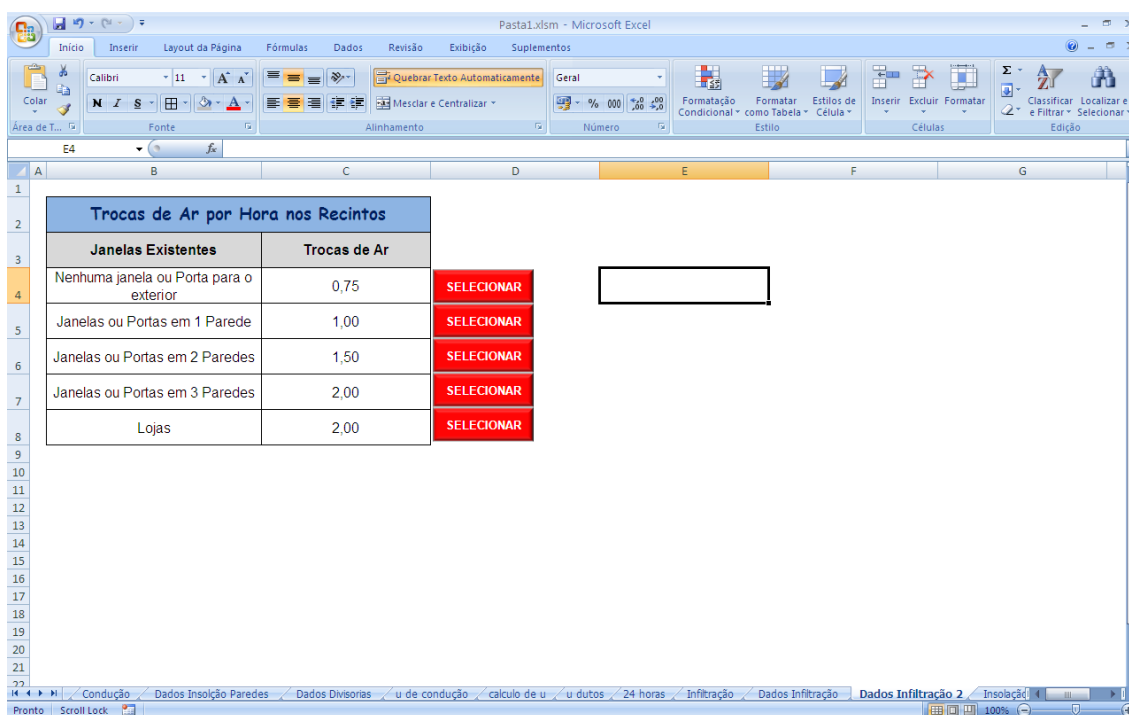


Figura 36 - Portas e janelas existentes na sala

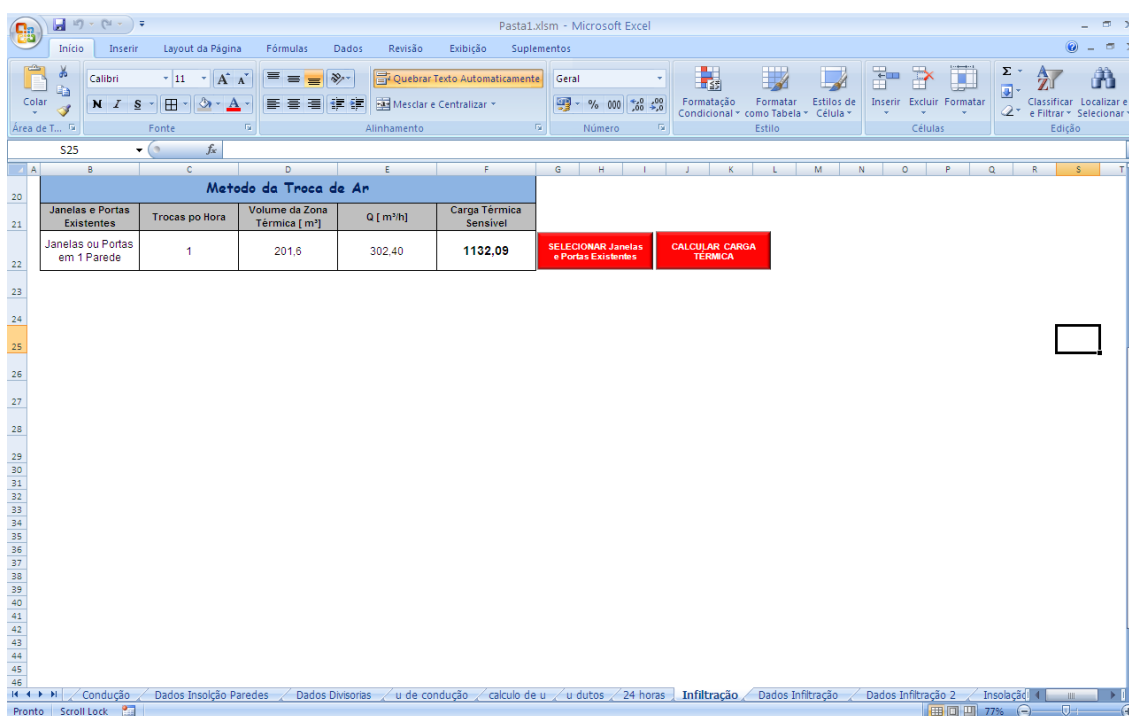


Figura 37 - Ganho de carga térmica pelo método das trocas de ar

4.2.7 Carga Térmica de Ventilação

O cálculo da carga térmica de ventilação apresentado no programa segue os passos da norma NBR 16401 para tal devem ser definidos o tipo de local (figura 38) e a área útil ocupada. A partir daí deve ser selecionada a eficiência de distribuição de ar na zona (figura 39) que permite ao programa calcular a vazão de ar a ser ventilada e a respectiva carga térmica acrescida pelo ar a ser ventilado para a zona.

A figura 40 mostra o ganho de carga térmica total por ventilação. Para a sala 21 com 41 ocupantes e uma área útil de 72 m² a carga térmica é de 35294,21 W.

Vazão Eficaz Mínima de Ar Exterior Para Ventilação								
Local	D[Pessoas/ 100m ²]	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão Mecânica ¹ [Litros/s*m ²]
		Fp[Litros/ s*pessoas]	Fa[Litros/ s*m ²]	Fp[Litros/ s*pessoas]	Fa[Litros/ s*m ²]	Fp[Litros/ s*pessoas]	Fa[Litros/ s*m ²]	
EDIFÍCIOS PÚBLICOS								
ESPORTES								
ESTABELECIMENTOS DE ENSINO								
Sala de Aula	35,0	5,0	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	
Laboratório de Informática	25,0	5,0	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	
Laboratório de Ciências	25,0	5,0	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0
HOTÉIS								
RESTAURANTES, BARES, DIVERSÃO								
LOCAIS DIVERSOS								
Legenda								
Nível 1 - Nível Mínimo vazão de ar exterior para ventilação								

Figura 38 - Finalidade do local

Pasta1.xlsm - Microsoft Excel

Inicio Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Suplementos

Colar Área de T... Fonte Alinhamento Número Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células Classificar e Filtrar Selecionar Edição

A1

Eficiência da Distribuição de Ar Nas Zonas de Ventilação

Configuração da Distribuição de Ar	E _z	
Insuflação de ar frio pelo forro	1,0	SELECIONAR
Insuflação de ar quente pelo forro e retorno pelo piso	1,0	SELECIONAR
Insuflação de ar quente pelo forro, 8°C ou mais acima da temperatura do espaço e retorno pelo forro	0,8	SELECIONAR
Insuflação de ar quente pelo forro a menos de 8 °C acima da temperatura do espaço pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m do piso a velocidade de 0,8 m/s	1,0	SELECIONAR
Insuflação de ar frio pelo piso e retorno pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4m ou mais do piso a velocidade de 0,8 m/s	1,0	SELECIONAR
Insuflação de ar frio pelo piso e retorno pelo forro, desde que o jato de ar insuflado de ar frio pelo piso, com fluxo de deslocamento a baixa velocidade e estratificação térmica, e retorno pelo forro	1,2	SELECIONAR
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo piso	1,0	SELECIONAR
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo forro	0,7	SELECIONAR

Dutos Gráfico Pizza Gráfico Comparativo Pessoas Dados Pessoas Equipamentos Dados Equipamentos Ventilação Dados Ventilação Dados Eficiência de ar

Pronto Scroll Lock 100%

Figura 39 - Eficiência de distribuição de ar na zona térmica

Pasta1.xlsm - Microsoft Excel

Inicio Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Suplementos

Colar Área de T... Fonte Alinhamento Número Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células Classificar e Filtrar Selecionar Edição

A1

Ganhos Por Ventilação - Sensível e Latente

Propriedades do Ambiente			
Local	Quantidade de Pessoas	ΔT	Área Útil Ocupada [m²]
Sala de Aula	41	11,1	72,00

Apagar Resultados SELECIONAR

Propriedades da Ventilação	
Fração do ar Exterior relacionada às pessoas [L/s/pessoas]	Nível 3
Fração de ar exterior relacionada ao recinto [L/s m²]	7,5
	0,9
Vazão Eficaz de ar exterior [L/s]	372,30
Eficiência de distribuição de ar na zona	0,5
Vazão de ar exterior a ser suprida na zona [L/s]	744,60
Umidade Relativa Exterior	0,0213
Umidade Relativa Interior	0,0112

CALCULAR SELECIONAR CALCULAR

Sensível [w]	10035,20
Latente [w]	22050,44
Total (10% de segurança)	35294,21

CALCULAR SENSÍVEL CALCULAR LATENTE VOLTAR A TELA PRINCIPAL

Dutos Gráfico Pizza Gráfico Comparativo Pessoas Dados Pessoas Equipamentos Dados Equipamentos Ventilação Dados Ventilação Dados Eficiência de ar

Pronto Scroll Lock 50%

Figura 40 - Ganho de carga térmica por ventilação

Ao retornar a tela principal o programa se encarrega em comparar as vazões de ventilação e infiltração e desconsiderar a carga térmica referente à menor vazão, como dito anteriormente. A figura 41 ilustra a avaliação.

Ganhos Por Ventilação - Sensível e Latente

Propriedades do Ambiente

Local	Quantidade de pessoas	Área Útil Ocupada [m²]
Sala de Aula		

Propriedades do Ambiente

Fração do ar Exterior relacionada às pessoas [L/s/pessoa]	Nível 3	7,5
Fração de ar exterior relacionada ao recinto [L/s/m²]		0,9
Vazão Eficaz de ar exterior [L/s]		372,30
Eficiência de distribuição de ar na zona		0,5
Vazão de ar exterior a ser suprida na zona [L/s]		744,60
Umidade Relativa Exterior		0,0213
Umidade Relativa Interior		0,0112

Apagar Resultados

Sensível [w]	10035,20
Latente [w]	22050,44
	35294,21

Os Valores de Carga Térmica de Infiltração serão desconsiderados, devido ao fato de que a vazão de ar de ventilação é maior do que a de infiltração

VOLTAR A TELA PRINCIPAL

CALCULAR

SELECIONAR

CALCULAR

Figura 41 - Avaliação entre vazão de ventilação e infiltração

4.2.8 Resumo

Na tela principal o programa apresenta o balanço energético dos vários tipos de cargas térmicas da zona. Conforme figura 42.

Para a sala 21 do Centro Tecnológico III abordada nesse trabalho a carga térmica total avaliada é de 46064,66 W.

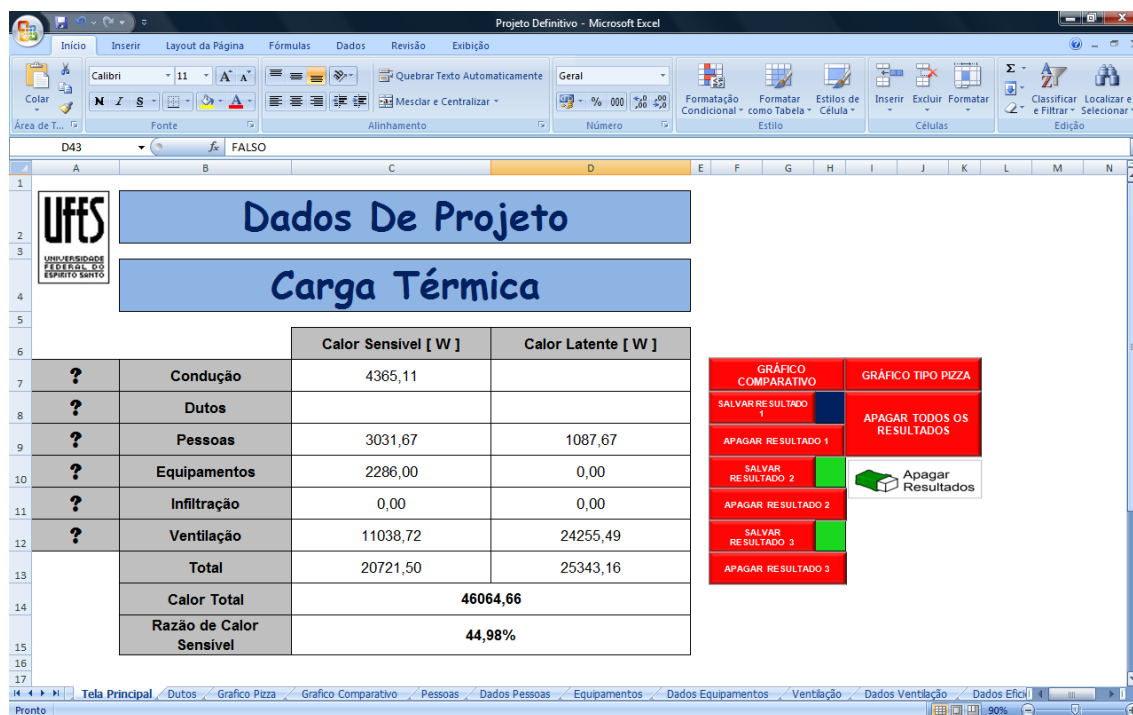


Figura 42 - Tela principal apresentando os resultados

4.2.9 Gráficos

A partir do resumo dos vários tipos de ganhos de carga térmica o programa permite a visualização gráfica das parcelas sensível e latente, e a influência de cada tipo de ganho em cada uma das parcelas através do gráfico tipo pizza. Figura 43.

Para voltar ao menu principal basta clicar no título do gráfico.

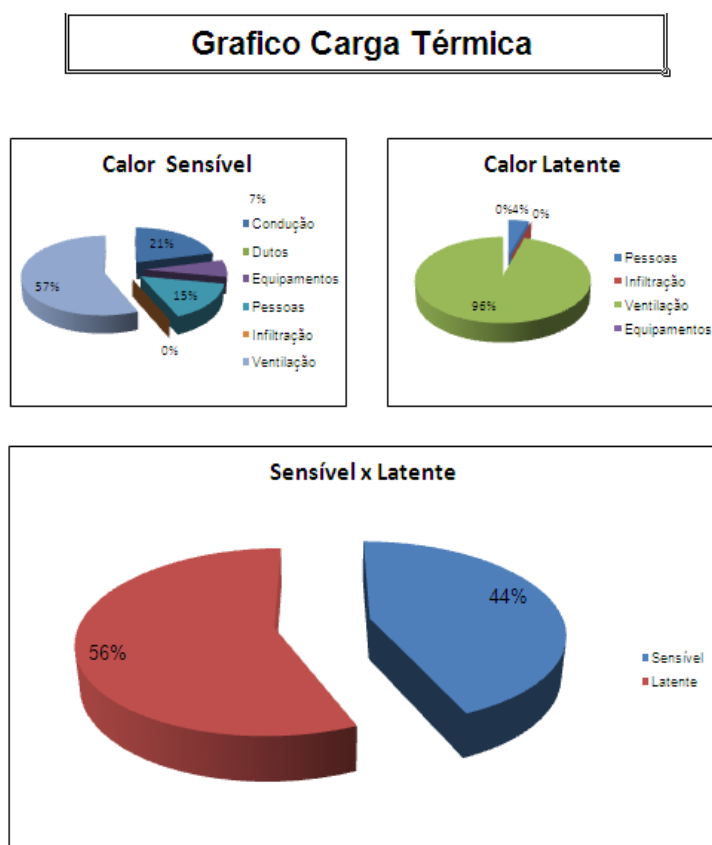


Figura 43 - Gráfico tipo pizza

Outra possibilidade de avaliação gráfica oferecida pelo programa é a elaboração de um gráfico comparativo em barras. No menu principal o programa oferece a possibilidade de armazenamento de até três resultados obtidos variando-se os parâmetros de projeto.

A caixa verde significa que não há resultado armazenado, enquanto a caixa azul indica que existe um resultado ocupando a posição.

A figura 44 representa as posições livres e ocupadas.

A figura 45 apresenta os resultados gráficos.

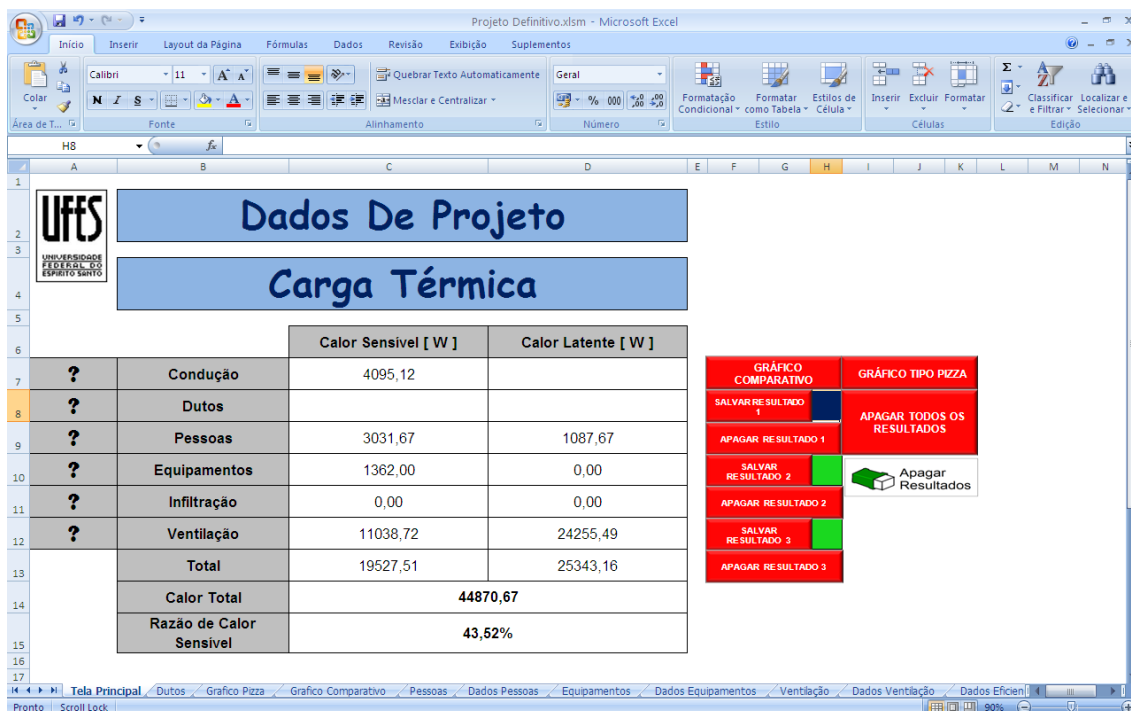


Figura 44 - Posições livres e ocupadas

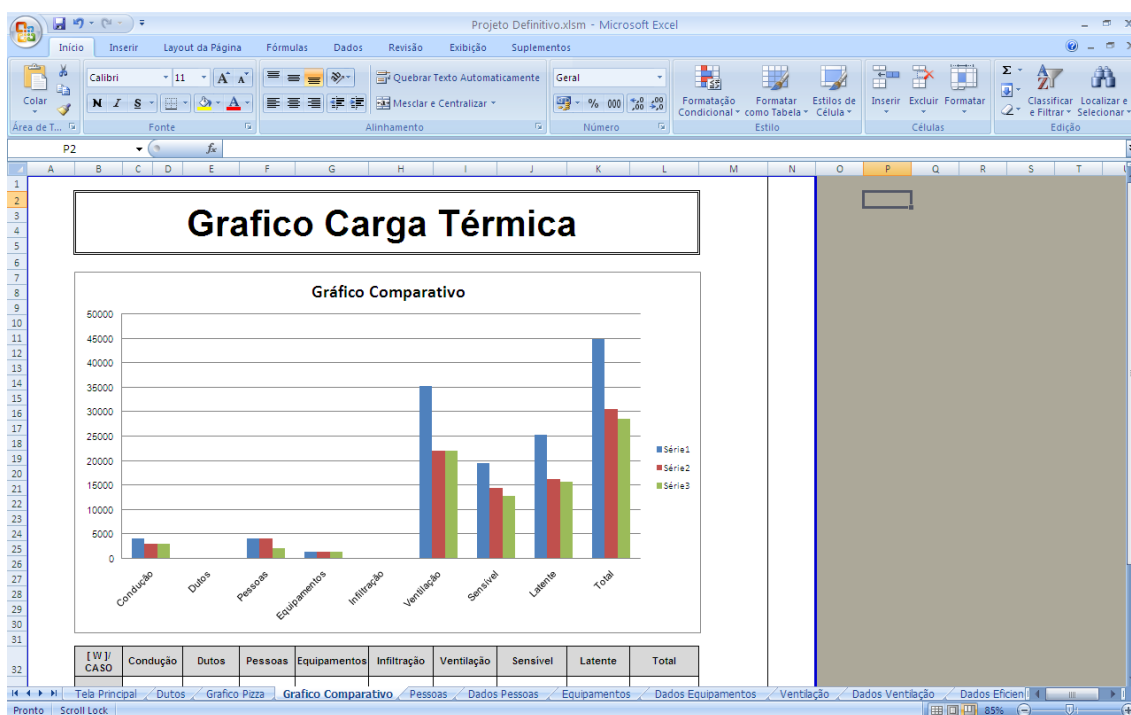


Figura 45 - Gráfico comparativo

5 COMPARAÇÃO COM CASO APRESENTADO EM OUTRA LITERATURA

5.1 Considerações a respeito do espaço físico e geográfico

A fim de se verificar os resultados obtidos com o programa desenvolvido, compararam-se os resultados para uma mesma zona térmica calculados no trabalho de Leonardo Souza de Carvalho (2009) com o programa desenvolvido no *Microsoft Excel Visual Basic*, como intuito de se ratificar os resultados desenvolvidos.

A zona térmica em questão trata de um quarto residencial (número 9 da figura 46) localizado no 2º andar de um prédio de fachada externa branca. O ambiente está na cidade de Salvador, Hemisfério Sul (12°58'16" de Latitude – nível do mar) cujas condições externas para projeto estão conforme a tabela B.1 da NBR 16401 (32 °C BS e 26 °CBU), sendo a variação da temperatura diária (*daily range*) de 10 °C. O telhado e o piso são feitos de laje simples com taco e os andares de cima e de baixo não são condicionados, os tijolos nas paredes são maciços de 14 cm de espessura. A iluminação é incandescente contendo apenas 2 lâmpadas de 60 W. No ambiente não existem janelas e os ambientes vizinhos não são condicionados. Considerando as condições ideais da sala de 24 °C BS e 50 % UR (segundo a NBR 16401). A quantidade máxima admitida nesse recinto é de 2 pessoas, possuindo apenas uma televisão LCD de consumo de 198 W e suas dimensões são indicadas na figura 47.

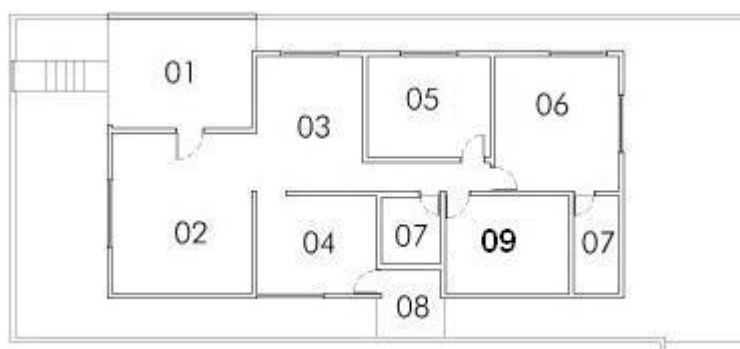


Figura 46 - Local da zona térmica

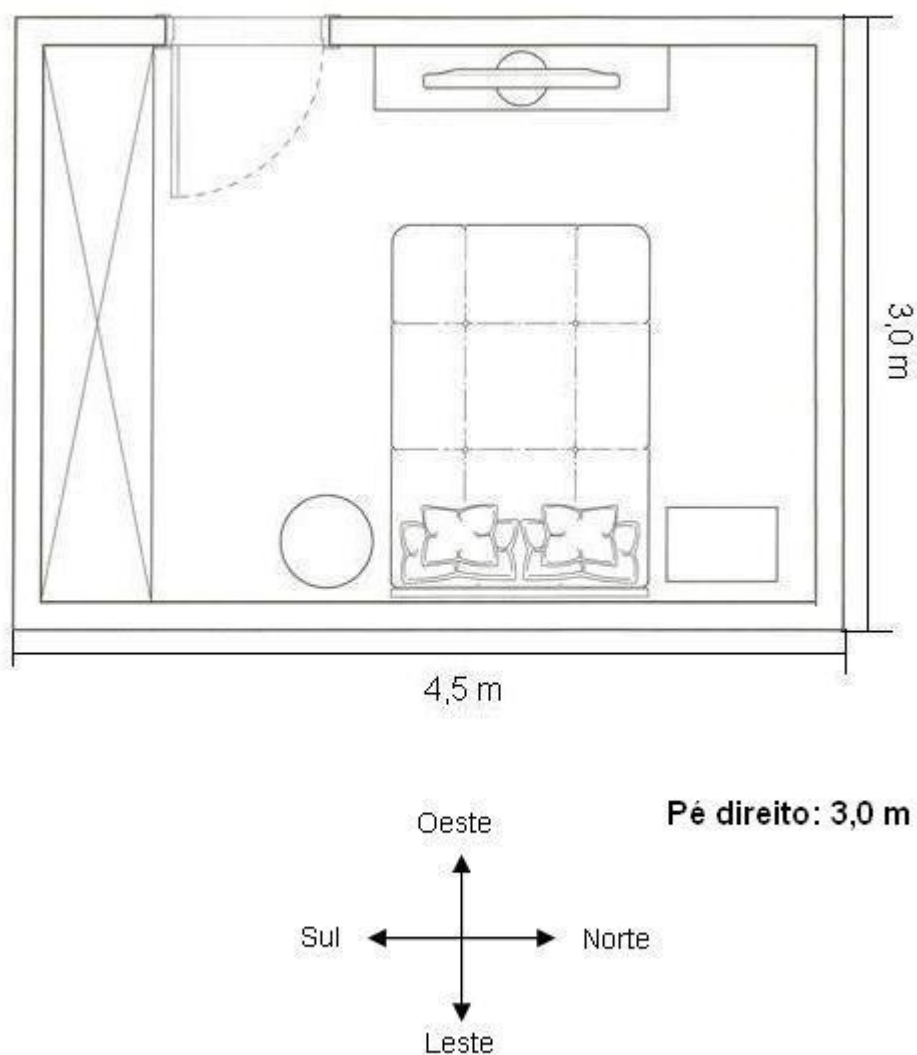


Figura 47 - Dimensões da zona térmica

Segundo o trabalho de Leonardo Souza de Carvalho (2009) têm-se:

5.2 Composição das Paredes:

Paredes Externas: $U = 1,42 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$ (parede com tijolo furado com 25 cm de espessura).

Paredes Internas: $U = 1,42 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$ (parede interna 25 cm) e $T_e = 24,6\text{°C}$.

Piso e Teto: O piso e o teto possuem também os mesmos valores de carga térmica, logo:

$U = 2,00 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$ (Lajes Simples com Tacos: 16 cm = 2 Revestimentos + 10 Concreto + 2 Argamassas + 2 Tacos).

5.3 Carga Térmica de Parede (Q_p):

Parede Leste:

$$Q_{le} = 117,70 \text{ Kcal/h}$$

Parede Sul:

$$Q_{sul} = 102,20 \text{ Kcal/h}$$

Parede Oeste:

$$Q_{oes} = 153,4 \text{ Kcal/h}$$

Parede Norte:

$$Q_{nor} = 102,2 \text{ Kcal/h}$$

Piso:

$$Q_{piso} = 216,6 \text{ Kcal/h}$$

Teto:

$$Q_{teto} = 216,6 \text{ Kcal/h}$$

Carga Total por Condução (Q_{Con}):

$$Q_{Con} = Q_{le} + Q_{sul} + Q_{oes} + Q_{nor} + Q_{piso} + Q_{teto}$$

$$Q_{Con} = 907,5 \text{ Kcal/h}$$

5.4 Carga Térmica Devido a Equipamentos:

Iluminação:

$$Q_i = 103,2 \text{ Kcal/h}$$

Televisão:

$$Q_{tv} = 170,28 \text{ Kcal/h}$$

Total por equipamentos (Q_{eq}):

$$Q_{eq} = Q_i + Q_{tv}$$

$$Q_{eq} = 273,48 \text{ Kcal/h}$$

5.5 Carga Térmica devido a quantidade de pessoas:

Sensível:

$$Q_{sp} = 122,0 \text{ Kcal/h}$$

Latente:

$$Q_{lp} = 104,0 \text{ Kcal/h}$$

Total devido as pessoas (Q_p):

$$Q_p = Q_{sp} + Q_{lp}$$

$$Q_p = 226,0 \text{ Kcal/h}$$

5.6 Carga Térmica devido a ventilação:

$$Q_{vent} = 611,6 \text{ Kcal/h}$$

5.7 Carga Térmica Total (Q_{total}):

$$Q_{total} = Q_{Con} + Q_{eq} + Q_p + Q_{vent}$$

$$Q_{total} = 2154,1 \text{ Kcal/h} = 8542,0 \text{ Btu/h}$$

Segundo o programa desenvolvido no *Microsoft Excel Visual Basic* tem-se:

5.8 Composição das paredes:

Paredes Externas: $U = 1,9 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$ - Uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos (Tabela 3.3).

Paredes Internas: $U = 1,61 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$ - Uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos (Tabela 3.3) e $\Delta T = 5 \text{ °C}$.

Piso e Teto: O piso e o teto possuem também os mesmos valores de carga térmica, logo:

$U = 1,98 \text{ Kcal/h.m}^2.\text{°C}$ - 0,02 m de Lambris de 3/4" + 0,1 m de Concreto com areia e pedra + 0,02 m de Nata de gesso com areia + 0,02 m de madeira de lei (Tabela 3.1) = 0,16 m de Piso ou Teto com Revestimentos, Concreto, Argamassas e Tacos.

5.9 Carga Térmica de Parede (Qp):

Parede Leste:

$$Q_{le} = 346,28 \text{ Kcal/h}$$

Parede Sul:

$$Q_{sul} = 79,70 \text{ Kcal/h}$$

Parede Oeste:

$$Q_{oes} = 119,54 \text{ Kcal/h}$$

Parede Norte:

$$Q_{nor} = 79,70 \text{ Kcal/h}$$

Piso:

$$Q_{piso} = 146,91 \text{ Kcal/h}$$

Teto:

$$Q_{teto} = 146,91 \text{ Kcal/h}$$

Carga Total por Condução (Q_{Con}):

$$Q_{Con} = Q_{le} + Q_{sul} + Q_{oes} + Q_{nor} + Q_{piso} + Q_{teto}$$

$$Q_{Con} = 919,04 \text{ Kcal/h}$$

5.10 Carga Térmica Devido a Equipamentos:

Iluminação:

Utilizaram-se os valores de Iluminação de Residências – Incandescente (Tabela C.2)

$$Q_i = 15,47 \text{ Kcal/h}$$

Televisão:

Utilizaram-se os valores de Monitor - Grande (19 a 20 Polegadas) (Tabela C.3)

$$Q_{tv} = 68,78 \text{ Kcal/h}$$

Total por equipamentos (Q_{eq}):

$$Q_{eq} = Q_i + Q_{tv}$$

$$Q_{eq} = 84,25 \text{ Kcal/h}$$

5.11 Carga Térmica devido a quantidade de pessoas:

Utilizaram-se os valores referentes a pessoas com o seguinte nível de atividade: Sentado Trabalho Leve (Tabela C.1)

Sensível:

$$Q_{sp} = 120,37 \text{ Kcal/h}$$

Latente:

$$Q_{lp} = 77,38 \text{ Kcal/h}$$

Total devido às pessoas (Q_p):

$$Q_p = Q_{sp} + Q_{lp}$$

$$Q_p = 197,76 \text{ Kcal/h}$$

5.12 Carga Térmica devido à ventilação:

Para o calculo da vazão de ventilação utilizou-se como local: Hotéis – Apartamento de Hóspedes - Tabela 1 (anexo), e uma eficiência de 0,5 - Ar de reposição suprido à proximidade da exaustão ou do retorno - Tabela 2 (anexo).

Sensível:

$$Q_{svent} = 230,51 \text{ Kcal/h}$$

Latente:

$$Q_{\text{lvent}} = 826,78 \text{ Kcal/h}$$

Total:

$$Q_{\text{vent}} = Q_{\text{svent}} + Q_{\text{lvent}}$$

$$Q_{\text{vent}} = 1057,29 \text{ Kcal/h}$$

5.13 Carga Térmica Total (Q_{total}):

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{Con}} + Q_{\text{eq}} + Q_{\text{p}} + Q_{\text{vent}}$$

$$Q_{\text{total}} = 2258,33 \text{ Kcal/h} = 8961,05 \text{ Btu/h}$$

Considerando um fator de segurança de 10% , tem-se:

$$Q_{\text{total}} = 2484,16 \text{ Kcal/h} = 9857,15 \text{ Btu/h}$$

5.14 Comparação de Resultados:

Observando-se os resultados obtidos em ambos os métodos de cálculo tem-se uma diferença de 1315,15 Btu/h ou 330,06 Kcal/h que é aceitável quando se buscam valores em diferentes bibliografias.

Tal diferença ocorre principalmente no cálculo adotado para ventilação e no cálculo de equipamentos, tal discrepância ocorre devido a adequação do método utilizando o *Microsoft Excel Visual Basic* a NBR 16401, que não traz valores satisfatórios para todos os tipos de equipamentos, enquanto que a diferença obtida nos valores referentes a ventilação ocorre justamente pela não adequação dos cálculos por parte do trabalho realizado por Leonardo de Souza Carvalho (2009) a NBR 16401 no que diz respeito ao cálculo de vazão.

Assim sendo pode-se observar na tabela 1, que o método utilizando o *Microsoft Excel Visual Basic* obtém resultados satisfatórios quando comparado a outros métodos de cálculo.

	<i>Microsoft Excel Visual Basic</i>		Leonardo Souza de Carvalho (2009)	
	Sensível	Latente	Sensível	Latente
Condução	919,04		907,50	
Equipamentos	84,25		273,48	
Pessoas	120,37	77,38	122,00	104,00
Ventilação	230,51	826,78	611,60	
Total [Kcal/h] (Com o Fator de Segurança)	2484,16		2154,10	

Tabela 1 - Comparação entre os métodos de cálculo

6 CONCLUSÃO

O trabalho de conclusão de curso apresentou um programa desenvolvido em *Microsoft Excel Visual Basic* que consiste em um modelo de cálculo detalhado de carga térmica a partir do livro *Instalações de Ar Condicionado*, CREDER (1996) e da Norma NBR 16401.

O programa traz resultados muito satisfatórios quando comparado ao resultado obtido analiticamente e a resultados obtidos em outros métodos permitindo ainda ao usuário uma grande rapidez nos cálculos de carga térmica e na comparação de resultados com parâmetros diferentes de entrada, tornando-se uma ótima ferramenta didática de engenharia.

Pôde se perceber no estudo de caso que a carga térmica que o que mais influencia é a de ventilação e que uma maior eficiência de distribuição do ar na zona térmica tem grande efeito sobre a carga térmica total.

Porém deve ser ressaltado que o programa não consegue abranger todos os detalhes de um cálculo de carga térmica complexo e sugere-se como melhoria ao programa uma ampliação dos dados de entrada, melhorar a precisão dos dados contidos no programa, ampliar o número de zonas térmicas a serem analisadas, avaliar a simultaneidade de cargas térmicas e a inércia térmica de uma edificação a fim de aumentar a precisão dos resultados obtidos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2008.
- CREDER, HÉLIO. Instalações de ar condicionado. 5ª Edição, Rio de Janeiro, 1996.
- HISTORIADETUDO.COM. História do ar condicionado. Disponível em: <<http://www.historiadetudo.com/ar-condicionado.html>>. Acesso em 15 mar. 2010.
- INCROPERA, DE WITT. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. 6ª Edição, Rio de Janeiro, 2008.
- KARASHIMA, THIAGO MACHADO. Projeto de Graduação - Avaliação de diferentes ferramentas para o cálculo de carga térmica e sua aplicação na análise energética de edifícios. Brasília, 2006.
- CARVALHO, LEONARDO SOUZA. Projeto de Graduação - Estudo entre carga térmica detalhada e simplificada para climatização ambiental. Salvador, 2009.
- MARQUES, M., HADDAD, J. , MARTINS, A.R.S..Conservação de energia - Eficiência energética de equipamentos e instalações. 3ª Edição, Itajubá, 2006.
- PIRANI, MARCELO JOSÉ. Apostila de Refrigeração e Ar Condicionado. Salvador, 2004.
- PIZZETTI, “Acondicionamiento del Aire y Refrigeración”, Editorial Interciencia. Madrid, 1970.
- WYLEN, SONNTAG. Fundamentos da Termodinâmica. 6ª Edição, São Paulo, 2003.
- MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia, 4ª Edição. Rio de Janeiro, 2002.

8 ANEXO A - TABELAS DA NBR 16401

Tabela A.6 - Dados de Projeto para a Região Sudeste

Região Sudeste														
ES	Vitória		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			20,27S	40,28W										4m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Ago	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	33,1	25,2	26,6	29,7	26,0	21,3	28,0		99,60%	16,5	12,8	9,2	21,0
8,0	2,00%	32,2	25,0	26,2	29,4	25,2	20,4	27,5		99,00%	17,5	14,0	9,9	21,2
MG	Belo Horizonte Panpulha		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			19,85S	43,95W										785m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jun	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	33,0	20,7	22,6	28,1	21,2	17,5	23,6		99,60%	11,5	4,9	5,9	22,8
9,6	2,00%	31,1	20,7	22,2	27,6	21,0	17,2	23,4		99,00%	12,8	6,8	6,7	21,4
MG	Belo Horizonte Tancredo Neves		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			19,83S	43,93W										917m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Ago	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	31,1	20,8	22,8	27,9	21,2	17,8	24,4		99,60%	11,1	4,9	6,0	21,2
9,7	2,00%	30,2	20,7	22,4	27,5	21,0	17,6	24,2		99,00%	12,2	6,1	6,5	20,3
RJ	Rio de Janeiro Santos Dumont		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			22,90S	43,17W										3m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	32,7	25,0	26,2	30,3	25,0	20,1	28,9		99,60%	16,1	11,8	8,6	19,5
6,1	2,00%	31,9	24,9	25,8	29,9	24,6	19,6	28,4		99,00%	17,0	12,9	9,3	19,5
RJ	Rio de Janeiro Galeão		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			22,82S	43,25W										6m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	38,1	25,6	28,1	32,8	27,1	22,9	30,1		99,60%	14,8	9,9	7,6	23,2
9,8	2,00%	36,2	25,3	27,5	32,0	26,2	21,7	29,3		99,00%	15,8	11,2	8,3	22,5
SP	Campinas		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			23,00S	47,13W										661m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jun	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	33,2	21,9	24,4	29,5	23,1	19,3	26,1		99,60%	8,6	3,9	5,4	16,8
9,8	2,00%	32,2	21,7	23,8	28,9	22,2	18,4	25,3		99,00%	10,0	5,9	6,2	17,7
SP	São Paulo Congonhas		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			23,62S	46,65W										803m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	32,0	20,3	23,2	27,8	22,1	18,5	25,3		99,60%	8,8	3,9	5,5	18,4
8,3	2,00%	31,0	20,4	22,1	26,7	21,0	17,2	24,0		99,00%	10,0	5,8	6,3	17,4
SP	São Paulo Guarulhos		Latitude	Longitud e	Altitude	Pr. Atm	Período	Extrem. Anuais	TBU	TBS mx	s	TBS mn	s	
			23,43S	46,74W										750m
Mês > Qt	Freq. Anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa Umidade			Mês> Fr	Freq. Anual	Aquec	Umidificação		
Fev	0,40%	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul	TBS	TPO	w	TBSc	
ΔTmd	1,00%	32,9	22,3	24,9	28,7	24,1	20,8	25,8		99,60%	7,0	3,9	5,5	13,5
8,9	2,00%	30,8	21,7	23,7	27,3	22,9	19,3	24,9		99,00%	8,9	6,0	6,3	14,9

Tabela A.2 - Fração da Variação Média Diária da Temperatura

hora	f	hora	f	hora	f
01	0,87	09	0,71	17	0,10
02	0,92	10	0,56	18	0,21
03	0,96	11	0,39	19	0,34
04	0,99	12	0,23	20	0,47
05	1,00	13	0,11	21	0,58
06	0,98	14	0,03	22	0,68
07	0,93	15	0,00	23	0,76
08	0,84	16	0,03	24	0,82

Fonte: ASHRAE Fundamentals Handbook 2005 chap. 28 – Climatic design information.

Tabela C.1 - Taxas Típicas de calor Liberado por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

NOTA 1 Valores baseados em temperatura de bulbo seco ambiente de 24 °C. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 27 °C, o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser reduzido em aproximadamente 20 %, e o calor latente aumentado correspondentemente. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 21 °C, também o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser aumentado em aproximadamente 20 %, e o calor latente reduzido correspondentemente.

NOTA 2 Valores arredondados em 5 W.

^a O valor do calor ajustado é baseado numa porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para cada uma das aplicações listadas, postulando-se que o calor liberado por uma mulher adulta é aproximadamente 85 % daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é aproximadamente 75 % daquele liberado por um homem adulto.

^b O ganho de calor ajustado inclui 18 W para um prato de comida individual (9 W de calor sensível e 9 W latente).

^c Considerando uma pessoa por cancha realmente jogando boliche, e todas as demais sentadas (117 W), paradas em pé ou caminhando lentamente (231 W).

Fonte:

Adaptado de 2005 ASHRAE Fundamentals Handbook, Capítulo 30, "Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations", Tabela 1.

Tabela C.2 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor por Iluminação

Local	Tipos de iluminação	Nível de iluminação Lux	Potência dissipada W/m²
Escritórios e bancos	Fluorescente	500	16
Lojas	Fluorescente	750	17
	Fluorescente compacta		23
	Vapor metálico		28
Residências	Fluorescente compacta	150	9
	Incandescente		30
Supermercados	Fluorescente	1 000	21
	Vapor metálico		30
Armazéns climatizados	Fluorescentes	100	2
	Vapor Metálico		3
Cinemas e teatros	Fluorescente compacta	50	6
	Vapor metálico		4
Museus	Fluorescente	200	5
	Fluorescente compacta		11
Bibliotecas	Fluorescente	500	16
	Fluorescente compacta		28
Restaurantes	Fluorescente compacta	150	13
	Incandescente		41
Auditórios:	a) Tribuna	750	30
			32
	b) Platéia	150	10
	c) Sala de espera	200	18
			8
Hotéis:	a) Corredores	100	8
	b) Sala de leitura	500	15
			22
	c) Quartos	150	9
			30
	d) Sala de convenções	150	8
			- Platéia
			- Tablado
	e) Portaria e recepção	200	8
			9

Tabela C.3 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor de Equipamentos de
Escritório - Computadores

Computadores	Uso contínuo W	Modo economizador W
Computadores		
Valor médio	55	20
Valor com fator de segurança	65	25
Valor com fator de segurança alto	75	30
Monitores		
Pequeno (13 pol. a 15 pol.)	55	0
Médio (16 pol. a 18 pol.)	70	0
Grande (19 pol. a 20 pol.)	80	0

Tabela C.4 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor de Equipamentos de
Escritório - Impressoras e Copiadoras

Impressoras e copiadoras	Uso contínuo W	1 página por minuto W	Ligada, em espera W
Impressoras a laser			
De mesa, pequena	130	75	10
De mesa	215	100	35
De escritório, pequena	320	160	70
De escritório, grande	550	275	125
Copiadoras			
De mesa	400	85	20
De escritório	1 100	400	300

Tabela C.5 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor de Equipamentos de Escritório - Equipamentos Diversos

Equipamentos diversos	Potência máxima W	Dissipação recomendada W
Caixas registradoras	60	48
Máquinas de fax	15	10
Máquinas de café (10 xícaras)	1 500	1 050 sensível 450 latente
Máquinas de venda de bebidas refrigeradas	1 150 a 1 920	575 a 960
Máquinas de venda de salgadinhos	240 a 275	240 a 275
Bebedouros refrigerados	700	350

Tabela C.6 - Densidade Típica de Carga de Equipamentos para Diversos Tipos de Escritórios

Densidade típica de carga de equipamentos para diversos tipos de escritórios		
Tipo de carga	Densidade W/m²	Descrição do escritório Assumindo:
Leve	5,4	15,5 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,67, exceto 0,33 para impressoras
Média	10,7	11,6 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,75, exceto 0,50 para impressoras
Média/alta	16,2	9,3 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 0,75, exceto 0,50 para impressoras
Alta	21,5	7,7 m ² por posto de trabalho com computador e monitor em cada um, mais impressora e fax. Fator de diversidade de 1,0, exceto 0,50 para impressoras

Fonte:

2005 ASHRAE Fundamentals Handbook, Capítulo 30, "Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations", Tabelas 8, 9, 10, 11.

Tabela C.7 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor de Motores Elétricos

Potência nominal		Eficiência a plena carga	Localização em relação ao espaço condicionado ou fluxo de ar		
CV	kW		W		
		%	Motor e equipamento dentro	Motor fora / equipamento dentro	Motor dentro / equipamento fora
0,05	0,04	35,0	105	37	68
0,08	0,06	35,0	168	59	109
0,125	0,09	35,0	263	92	171
0,16	0,12	35,0	336	118	219
0,25	0,18	64,0	287	184	103
0,33	0,24	67,0	362	243	120
0,50	0,37	68,0	541	368	173
0,75	0,55	71,0	777	552	225
1,0	0,74	78,0	943	736	207
1,5	1,1	72,7	1 520	1 100	414
2,0	1,5	78,0	1 890	1 470	415
3,0	2,2	79,3	2 780	2 210	576
4,0	2,9	82,7	3 560	2 940	615
5,0	3,7	84,6	4 350	3 680	669
6,0	4,4	84,2	5 240	4 410	828
7,5	5,5	88,5	6 230	5 520	717
10,0	7,4	89,0	8 260	7 360	909
12,5	9,2	87,7	10 480	9 190	1 290
15	11,0	88,3	12 490	11 030	1 460
20	14,7	89,8	16 380	14 710	1 670
25	18,4	90,1	20 410	18 390	2 020
30	22,1	91,0	24 250	22 070	2 180
40	29,4	91,0	32 330	29 420	2 910
50	36,8	91,7	40 100	36 780	3 330
60	44,1	91,6	48 180	44 130	4 050
75	55,2	91,9	60 020	55 160	4 860
100	73,6	95,5	77 020	73 550	3 470
125	91,9	91,8	100 200	91 940	8 210
150	110,3	92,0	119 900	110 300	9 590
175	128,7	92,7	138 800	128 700	10 140
200	147,1	93,4	157 500	147 100	10 400
250	183,9	93,5	196 700	183 900	12 780
300	220,7	95,0	232 300	220 700	11 610
350	257,4	95,1	270 700	257 400	13 260
400	294,2	95,3	308 700	294 200	14 510
450	331,0	95,4	346 900	331 000	15 960
500	367,8	95,4	385 500	367 800	17 730
NOTA 1 Motores operando em regime de uso contínuo.					
NOTA 2 Motores com potência nominal de 0,05 CV a 0,16 CV são monofásicos, 1 500 rpm.					
NOTA 3 Motores com potência nominal de 0,25 CV a 500 CV são trifásicos, 1 750 rpm.					
NOTA 4 Cabe ao projetista avaliar o fluxo de calor efetivamente dissipado e o local onde é dissipado.					

Fonte:

Adaptado a partir de 2005 ASHRAE Fundamentals Handbook, Capítulo 30, "Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations", Tabela 3.A.

Tabela C.8 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor e Umidade de Alguns Equipamentos Comerciais - Restaurantes e Lanchonetes

Equipamento	Tamanho	Potência W	Ganho de calor W			
			Sem coifa			Com coifa
		Plena Carga	Sensível	Latente	Total	Sensível
Elétrico (sem exigência de coifa)						
Armário (grande, servir quente)	1,06 a 1,15 m³	2 000	180	90	270	82
Armário (provador grande)	0,45 a 0,48 m³	2 030	180	90	270	82
Armário (pequeno, manter quente)	0,09 a 0,18 m³	900	80	40	120	37
Cafeteira	12 xícaras	1 660	1 100	560	1 660	530
Expositor refrigerado, por metros cúbicos de interior	0,17 a 1,9 m³	1 590	640	0	640	0
Aquecedor de alimentos (lâmpada infra-vermelha), por lâmp.	1 a 6 lâmpadas	250	250	-	250	250
Aquecedor de alimentos (tipo prateleira), por metro quadrado de superfície	0,28 m³ a 0,84 m³	2 930	2 330	600	2 930	820
Aquecedor de alimentos (tubo infravermelho), por metro linear	1,0 m³ a 2,1 m	950	950	-	950	950
Aquecedor de alimentos (água quente), por metro cúbico de banho	20 a 70 L	37 400	12 400	6 360	18 760	6 000
Congelador (grande)	2,07 m³	1 340	540	-	540	0
Congelador (pequeno)	0,51 m³	810	320	-	320	0
Grelha de cachorro quente	48 a 56 unidades	1 160	100	50	150	48
Forno de microondas (resistente, comercial)	20 L	2 630	2 630	-	2 630	0
Forno de microonda (tipo residencial)	30 L	600 a 1 400	600 a 1 400	-	600 a 1 400	0
Refrigerador (grande), por metro cúbico de espaço de interior	0,71 a 2,1 m³	780	310	-	310	0
Refrigerador (pequeno) por metro cúbico de espaço de interior	0,17 a 0,71 m³	1 730	690	-	690	0
Carrinho de transporte (quente), por metro cúbico de banho	50 L a 90 L	21 200	7 060	3 530	10 590	3 390
Aquecedor de caldas, por litro de capacidade	11 L	87	29	16	45	14
Torradeira (grande automático)	10 fatias	5 300	2 810	2 490	5 300	1 700
Torradeira (pequeno automático)	4 fatias	2 470	1 310	1 160	2 470	790
Chapa de Waffle	0,05 m²	1 640	700	940	1 640	520

Tabela C.9 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor e Umidade de Alguns Equipamentos Médicos (W)

Equipamento	Nominal	Máximo	Média
Sistema de anestesia	250	177	166
Cobertor elétrico	500	504	221
Medidor de pressão	180	33	29
Aquecedor de sangue	360	204	114
ECG/RESP	1 440	54	50
Eletrocirurgia	1 000	147	109
Endoscópio	1 688	605	596
Bisturi	230	60	59
Bomba esteroscópica	180	35	34
Laser sônico	1 200	256	229
Microscópio óptico	330	65	63
Medidor de oxigênio de pulso	72	21	20
Medidor de stress	N/A	198	173
Sistema de ultra-som	1 800	1 063	1 050
Sucção a vácuo	621	337	302
Sistema de radiografia	968		82
	1 725	534	480
	2 070		18

Tabela C.10 - Taxas Típicas de Dissipação de Calor em Equipamentos de Laboratório (W)

Equipamento	Nominal	Máximo	Média
Balança analítica	7	7	7
Centrífuga	138	89	87
	288	136	132
	5 500	1 176	730
Analisador eletroquímico	50	45	44
	100	85	84
Fotômetro de chama	180	107	105
Microscópio fluorescente	150	144	143
	200	205	178
Gerador de função	58	29	29
Incubadora	515	461	451
	600	479	264
	3 125	1 335	1 222
Batedeira orbital	100	16	16
Osciloscópio	72	38	38
	345	99	97
Evaporador rotativo	75	74	73
	94	29	28
Espectrômetro	36	31	31
Espectrofotômetro	575	106	104
	200	122	121
	N/A	127	125
Espectrofluorômetro	340	405	395
Ciclo térmico	1 840	965	641
	N/A	233	198
Biocultura	475	132	46
	2 346	1 178	1 146

Tabela 1 - Vazão Eficaz Mínima de Ar Exterior para Ventilação

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ² ^a
		F _p L/s*pess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pess	F _a L/s*m ²	F _p L/s*pess	F _a L/s*m ²	
Comércio varejista								
Supermercado de alto padrão	8	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado de padrão médio	10	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado popular	12	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Mall de centros comerciais	40	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Lojas (exceto abaixo)	15	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
Salão de beleza e/ou barbearia ^b	25	10	0,6	12,5	0,8	15,0	0,9	--
Animais de estimação ^b	10	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	4,5
Lavanderia "self-service"	20	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Edifícios de escritórios								
Hall do edifício, recepção	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritórios de diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
CPD (exceto impressoras)	4	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala impressoras, copiadoras	--	--	--	--	--	--	--	2,5
Sala digitação	60	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
"Call center"	60	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
Bancos								
Bancos (área do público)	41	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Caixa forte	5	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--

Tabela 1 (continuação)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ² a
		F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	
Edifícios públicos								
Aeroporto – saguão ^c	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque ^c	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte ^d	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Legislativo – plenário	50	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – lobby	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório e platéia	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – palco	70	5	0,3	6,3	0,4	7,5	0,5	--
Tribunal – sala de audiências	70	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Esportes								
Boliche – área do público	40	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Ginásio coberto (área do público)	150	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Ginásio coberto (quadra)	--	--	0,3	--	0,4	--	0,5	--
Piscina coberta ^e	--	--	2,4	--	3,0	--	3,6	2,5
"Fitness center" – aeróbica	40	10	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
"Fitness center" – aparelhos	10	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Estabelecimentos de ensino								
Sala de aula	35	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de informática	25	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de ciências	25	5	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0
Hotéis								
Apartamento de hóspedes	.	5,5	--	6,9	--	10,3	--	--
Banheiro privativo	--	--	--	--	--	--	--	2,5/unid.
Lobby, sala de estar	30	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Sala de convenções	120	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Dormitório coletivo	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Restaurantes, bares, diversão								
Restaurante – salão de refeições	70	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Bar, salão de coquetel	100	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Cafeteria, lanchonete, refeitório	100	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Salão de jogos	120	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Discoteca, danceteria	100	10,0	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
Jogos eletrônicos	20	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--

Tabela 1 (continuação)

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ^{2 a}
		F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	F _p L/s* pess.	F _a L/s* m ²	F _p L/s* pess	F _a L/s* m ²	
Locais diversos								
Câmara escura	--	--	--	--	--	--	--	5,0
Copa	--	--	--	--	--	--	--	1,5
Sala exclusiva para fumar ^f	--	--	--	--	--	--	--	9,0
Sanitários públicos	--	--	--	--	--	--	--	35 / bacia
Vestiários coletivos	--	--	--	--	--	--	--	2,5
Legenda								
Nível 1 - Nível mínimo vazão de ar exterior para ventilação.								
Nível 2 - Nível intermediário da vazão de ar exterior para ventilação.								
Nível 3 - Vazões ar exterior para ventilação que segundo estudos existem evidências de redução de reclamações e manifestações alérgicas								
F _p - Fração do ar exterior relacionada às pessoas (L/s* pessoa)								
F _a - Fração do ar exterior relacionada ao recinto (L/s* m ²)								
D - Densidade de ocupação esperada, referida à área útil ocupada (pessoas/100 m ²)								
NOTA 1 A aplicação desta Tabela está condicionada à obediência a todos os demais requisitos desta parte da ABNT NBR 16401.								
NOTA 2 O nível (1,2 ou 3) de ar externo a ser utilizado no projeto deve ser definido entre o projetista e o cliente.								
NOTA 3 As vazões de ar exterior estipuladas são baseadas na proibição de fumar nos recintos (exceto local reservado).								
NOTA 4 Ar exterior com densidade do ar 1,2 kg/ m ³ (a vazão deve ser corrigida para a densidade efetiva).								
a	O ar de reposição para a exaustão pode ser proveniente de recintos vizinhos.							
b	Não recircular para outros recintos.							
c	Tratamento especial do ar exterior pode ser necessário para remover odores ou vapores nocivos.							
d	Tratamento especial do ar exterior pode ser necessário para remover elementos prejudiciais às obras de arte.							
e	A vazão estipulada não contempla controle de umidade. Pode ser necessário aumentar a vazão ou instalar um sistema de desumidificação.							
f	Não há valores estabelecidos da vazão de ar exterior necessária para diluir a fumaça de tabaco a níveis aceitáveis. A vazão de exaustão estipulada visa apenas evitar uma concentração excessiva de fumaça no recinto e a sua propagação para recintos vizinhos.							

Fonte – Adaptada da ANSI/ASHRAE 62.1: 2004.

Tabela 2 - Eficiência da distribuição de ar nas zonas de ventilação

Configuração da distribuição de ar	E_z
Insuflação de ar frio pelo forro	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro e retorno pelo piso	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro, 8°C ou mais acima da temperatura do espaço e retorno pelo forro	0,8
Insuflação de ar quente pelo forro a menos de 8°C acima da temperatura do espaço pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m do piso à velocidade de 0,8 m/s	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso e retorno pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m ou mais do piso à velocidade de 0,8 m/s	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso, com fluxo de deslocamento a baixa velocidade e estratificação térmica, e retorno pelo forro	1,2
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo piso	1,0
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo forro	0,7
Ar de reposição suprido do lado oposto à exaustão ou ao retorno	0,8
Ar de reposição suprido à proximidade da exaustão ou do retorno	0,5

Fonte – ANSI/ASHRAE 62.1: 2004.

9 ANEXO B - TABELAS EXTRAIDAS DE CREDER, 1996

Tabela 3.1 - Coeficiente de Transmissão de Calor dos Materiais de Construção

Material	Condutividade K		Condutância C	
	BTU · in/h · ft ² · °F	kcal/h · m · °C	BTU/h · ft ² · °F	kcal/h · m ² · °C
1. Acabamentos:				
– cimento asbestos	4,0	0,496		
– gesso 1/2"			2,25	10,99
– lambris	0,80	0,09		
– lambris de 3/4"			1,07	5,22
– fibra de madeira	1,40	0,173		
– emboço ou reboco (2 cm)			0,49	2,39
2. Alvenaria:				
– lã mineral (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
– vermiculite	0,46	0,05		
– concreto simples	5,0	0,62		
– massa de cimento com agregados	1,7	0,21		
– concreto com areia e pedra	12,0	1,48		
– estuque	5,0	0,62		
– tijolo comum (meia-vez)	5,0	0,62		
– tijolo comum (uma vez)	9,0	1,11		
– tijolo de concreto furado de 10 cm	1,4	0,17		
– tijolo de concreto furado de 20 cm	0,9	0,11		
– ladrilho ou cerâmica	0,9	0,11		
– alvenaria de pedra	12,50	1,55		
3. Isolamentos:				
– fibras de lãs minerais (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
– fibra de madeira	0,25	0,03		
– vidro celular	0,39	0,04		
– cortiça	0,27	0,03		
– fibra de vidro	0,25	0,03		
– isoflex (Santa Marina)		0,039		
4. Argamassas:				
– nata de cimento com areia	5,0	0,62		
– nata de gesso com areia	5,6	0,69		
– agregado com vermiculite	1,7	0,21		
5. Cobertura:				
– placa de agregado de asfalto	6,50	0,80		
– teto com 10 cm	3,00	0,37		
6. Madeiras:				
– de lei (cedro, canela etc.)	1,10	0,13		
– pinho	0,80	0,09		

Ref.: Trane Air Conditioning.

Tabela 3.3 - Coeficientes Globais de Transmissão de Calor U para Janelas e Paredes

Tabela 3.3 Coeficientes Globais de Transmissão de Calor U em kcal/h · m² · °C para Janelas e Paredes

<i>Elementos</i>	<i>U em kcal/h · m² · °C</i>
a) Janelas	
– Janelas de vidros comuns (simples)	5,18
– Janelas de vidros duplos	3,13
– Janelas de vidros triplos	1,66
b) Paredes externas	
– Tijolos maciços (20 × 10 × 6 cm):	
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,88
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,95
– Tijolos furados (20 × 20 × 10 ou 30 × 30 × 10 cm):	
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,59
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,90
c) Paredes internas	
– Tijolos maciços (20 × 10 × 6 cm):	
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,29
meia-vez (10 cm) = 6 tijolos + 2 revestimentos	2,68
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,66
– Tijolos furados (20 × 20 × 10 ou 20 × 10 × 6 cm):	
meia-vez (10 cm) = 6 tijolos + 2 revestimentos	2,54
meia-vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,10
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,61
d) Concreto externo ou pedra	
15 cm	3,81
25 cm	3,03
35 cm	2,54
50 cm	2,00
e) Concreto interno	
10 cm	3,17
15 cm	2,83
20 cm	2,59

Observação: Estes coeficientes são usados para cálculos sem grandes precisões.

**Tabela 3.5 - Coeficientes de Transmissão de Calor Através de Vidros
(Fator Solar)**

Tabela 3.5 Coeficientes de Transmissão do Calor Solar Através de Vidros (Fator Solar)																		
22° 54' Latitude Sul		kcal/h · m² (Fator Solar) de Áreas de Vidro														Valores Máximos em Cada Orientação entre Setembro e Março		
Verão		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Hora Local																		
Dia do Ano	Face do Prédio															kcal/h · m²	W/m²	
22 DEZEMBRO	S	87	98	68	54	49	43	41	43	49	54	65	98	87			98	113,5
	SE	260	421	388	290	190	73	41	38	38	38	38	27	11			420	488,8
	E	263	440	475	426	277	122	38	38	38	38	38	27	11			474	551,8
	NE	95	193	222	214	157	84	43	38	38	38	38	27	11			222	358,6
	N	11	27	33	38	41	49	49	49	41	38	38	27	11			49	56,7
	NO	11	27	33	38	38	38	43	84	157	214	217	193	95			217	352,0
	O	11	27	33	38	38	38	38	122	277	426	434	440	263			440	510,8
	SO	11	27	33	38	38	38	41	73	190	290	364	421	260			420	488,8
	CLARABÓIA	41	176	361	515	629	684	738	412	629	515	429	176	41			740	857,8
21 JANEIRO 21 NOVEMBRO	S	60	65	49	41	41	38	38	38	41	41	43	65	60			65	75,6
	SE	228	383	372	279	160	65	38	38	38	35	35	24	11			384	444,6
	E	244	442	480	431	296	130	38	38	38	35	35	24	11			480	558,2
	NE	100	214	260	250	193	109	49	38	38	35	35	24	11			245	302,7
	N	11	24	33	38	46	54	57	54	46	38	35	24	11			57	66,2
	NO	11	24	33	35	38	38	38	109	193	250	247	214	100			250	290,1
	O	11	24	33	35	38	38	38	130	296	431	440	442	244			443	514,0
	SO	11	24	33	35	38	38	38	65	160	279	334	383	228			384	444,6
	CLARABÓIA	30	171	347	515	624	692	733	692	624	515	407	171	30			734	851,4
20 FEVEREIRO 23 OUTUBRO	S	16	24	30	35	38	38	38	38	38	35	35	24	16			38	44,1
	SE	141	342	307	214	103	43	38	38	38	35	35	22	5			342	397,3
	E	168	415	488	440	285	138	38	38	38	35	35	22	5			489	567,6
	NE	92	269	342	334	304	187	79	41	38	35	35	22	5			343	397,3
	N	5	22	33	52	84	106	114	106	84	52	38	22	5			114	132,4
	NO	5	22	30	35	38	41	79	187	304	334	331	269	92			334	387,9
	O	5	22	30	35	38	38	38	152	285	440	448	415	168			448	520,3
	SO	5	22	30	35	38	38	38	43	103	214	269	342	168			342	397,3
	CLARABÓIA	16	138	320	472	597	662	692	662	597	472	372	138	16			691	804,1
22 MARÇO 22 SETEMBRO	S	0	16	30	35	38	38	38	38	38	35	35	16	0			38	44,1
	SE	0	225	255	136	49	38	38	38	38	35	35	16	0			255	296,4
	E	0	366	458	426	309	133	38	38	38	35	35	16	0			458	532,9
	NE	0	285	385	418	369	274	147	52	38	35	35	16	0			418	485,6
	N	0	24	57	128	179	220	228	220	179	128	73	24	0			229	264,9
	NO	0	16	30	35	38	52	147	274	369	418	388	285	0			418	485,6
	O	0	16	30	35	38	38	38	133	309	426	440	366	0			439	510,8
	SO	0	16	30	35	38	38	38	38	49	136	201	225	0			225	261,7
	CLARABÓIA	0	79	247	410	543	605	635	605	543	410	309	79	0			636	737,9
20 ABRIL 24 AGOSTO	S	0	11	24	33	35	38	38	38	35	33	27	11	0				
	SE	0	106	128	65	35	38	38	38	35	33	27	11	0				
	E	0	250	404	388	279	130	38	38	35	33	27	11	0				
	NE	0	231	415	467	440	364	233	98	41	33	27	11	0				
	N	0	54	152	238	293	342	353	342	293	239	184	54	0				
	NO	0	11	24	33	41	98	233	364	440	467	429	231	0				
	O	0	11	24	33	35	38	38	130	279	388	399	250	0				
	SO	0	11	24	33	35	38	38	38	35	65	95	106	0				
	CLARABÓIA	0	46	163	320	445	521	548	521	445	320	217	30	0				
21 MAIO 23 JULHO	S	0	5	19	30	35	35	35	35	35	30	24	5	0				
	SE	0	57	68	33	35	35	35	35	35	30	24	5	0				
	E	0	122	336	350	250	111	35	35	35	30	24	5	0				
	NE	0	128	385	469	461	402	277	152	52	30	24	5	0				
	N	0	46	187	298	374	412	429	412	374	298	231	46	0				
	NO	0	5	19	30	52	152	277	402	461	469	407	128	0				
	O	0	5	19	30	11	35	35	111	250	350	334	122	0				
	SO	0	5	19	30	11	35	35	35	35	33	43	41	0				
	CLARABÓIA	0	8	100	236	355	434	456	434	355	236	155	8	0				
21 JUNHO	S	0	3	14	30	33	35	35	35	33	30	19	3	0				
	SE	0	14	38	30	33	35	35	35	33	30	19	3	0				
	E	0	57	296	326	239	95	35	35	33	30	19	3	0				
	NE	0	60	331	467	467	399	317	182	68	30	19	3	0				
	N	0	24	195	326	393	437	448	437	393	326	233	24	0				
	NO	0	3	14	30	68	182	317	399	467	467	383	60	0				
	O	0	3	14	30	33	35	35	95	239	326	296	57	0				
	SO	0	3	14	30	33	35	35	35	33	30	33	14	0				
	CLARABÓIA	0	5	73	203	320	396	421	396	320	203	130	5	0				

Tabela 3.6 - Acréscimo ao Diferencial de Temperatura

Tabela 3.6 Acréscimo ao Diferencial de Temperatura – Δt em °F e em °C

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou O	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

Tabela 3.13 - Trocas de Ar por Hora nos Recintos

Tabela 3.13 Trocas de Ar por Hora nos Recintos

Janelas Existentes	Trocas por Hora
Nenhuma janela ou porta para o exterior	3/4
Janelas ou portas em 1 parede	1
Janelas ou portas em 2 paredes	1 1/2
Janelas ou portas em 3 paredes	2
Lojas	2

Tabela 3.14 - Infiltração de Ar Exterior

Tabela 3.14 Infiltração de Ar Exterior

<i>Ar pelas Frestas</i>		
<i>Tipo de Abertura</i>	<i>Observação</i>	<i>m³/h por Metro de Fresta</i>
Janela		
– comum		3,0
– basculante		3,0
– guilhotina c/ caixilho de madeira	Mal ajustada	6,5
	Bem ajustada	2,0
– guilhotina c/ caixilho metálico	Sem vedação	4,5
	Com vedação	1,8
Porta	Mal ajustada	13,0
	Bem ajustada	6,5
<i>Ar pelas Portas</i>		
<i>Local</i>	<i>m³/h por Pessoa Presente no Recinto Condicionado</i>	
	<i>Porta Giratória (1,80 m)</i>	<i>Porta de Vaivém (0,90 m)</i>
Bancos	11	14
Barbearias	7	9
Drogarias e farmácias	10	12
Escritórios de corretagem	9	9
Escritórios privados	–	4
Escritórios em geral	–	7
Lojas de cigarros	32	51
Lojas em geral	12	14
Quartos de hospitais	–	7
Restaurantes	3	4
Salas de chá ou café	7	9
<i>Ar pelas Portas Abertas</i>		

Porta de 90 cm – 1.350 m³/h

Porta de 180 cm – 2.000 m³/h

Para contrabalançar a infiltração com tomada de ar nos condicionadores:

Porta de 90 cm – 1.750 m³/h

Porta de 180 cm – 2.450 m³/h

10 ANEXO C - TABELAS EXTRAÍDAS DE MORAN E SHAPIRO, 2002

Tabela A.2 - Propriedades da Água Saturada (Líquido-Vapor)

Tabela A.2 Propriedades da Água Saturada (Líquido-Vapor): Tabela de Temperatura

Temp. °C	Press. bar	Volume Específico m³/kg		Energia Interna kJ/kg		Entalpia kJ/kg			Entropia kJ/kg · K		Temp. °C
		Líquido Sat. $v_f \times 10^3$	Vapor Sat. v_g	Líquido Sat. u_f	Vapor Sat. u_g	Líquido Sat. h_f	Evap. h_{fg}	Vapor Sat. h_g	Líquido Sat. s_f	Vapor Sat. s_g	
0,01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562	0,01
4	0,00813	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0610	9,0514	4
5	0,00872	1,0001	147,120	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257	5
6	0,00935	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003	6
8	0,01072	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501	8
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008	10
11	0,01312	1,0004	99,857	46,20	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765	11
12	0,01402	1,0005	93,784	50,41	2391,9	50,41	2473,0	2523,4	0,1806	8,8524	12
13	0,01497	1,0007	88,124	54,60	2393,3	54,60	2470,7	2525,3	0,1953	8,8285	13
14	0,01598	1,0008	82,848	58,79	2394,7	58,80	2468,3	2527,1	0,2099	8,8048	14
15	0,01705	1,0009	77,926	62,99	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,7814	15
16	0,01818	1,0011	73,333	67,18	2397,4	67,19	2463,6	2530,8	0,2390	8,7582	16
17	0,01938	1,0012	69,044	71,38	2398,8	71,38	2461,2	2532,6	0,2535	8,7351	17
18	0,02064	1,0014	65,038	75,57	2400,2	75,58	2458,8	2534,4	0,2679	8,7123	18
19	0,02198	1,0016	61,293	79,76	2401,6	79,77	2456,5	2536,2	0,2823	8,6897	19
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672	20
21	0,02487	1,0020	54,514	88,14	2404,3	88,14	2451,8	2539,9	0,3109	8,6450	21
22	0,02645	1,0022	51,447	92,32	2405,7	92,33	2449,4	2541,7	0,3251	8,6229	22
23	0,02810	1,0024	48,574	96,51	2407,0	96,52	2447,0	2543,5	0,3393	8,6011	23
24	0,02985	1,0027	45,883	100,70	2408,4	100,70	2444,7	2545,4	0,3534	8,5794	24
25	0,03169	1,0029	43,360	104,88	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,5580	25
26	0,03363	1,0032	40,994	109,06	2411,1	109,07	2439,9	2549,0	0,3814	8,5367	26
27	0,03567	1,0035	38,774	113,25	2412,5	113,25	2437,6	2550,8	0,3954	8,5156	27
28	0,03782	1,0037	36,690	117,42	2413,9	117,43	2435,2	2552,6	0,4093	8,4946	28
29	0,04008	1,0040	34,733	121,60	2415,2	121,61	2432,8	2554,5	0,4231	8,4739	29
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533	30
31	0,04496	1,0046	31,165	129,96	2418,0	129,97	2428,1	2558,1	0,4507	8,4329	31
32	0,04759	1,0050	29,540	134,14	2419,3	134,15	2425,7	2559,9	0,4644	8,4127	32
33	0,05034	1,0053	28,011	138,32	2420,7	138,33	2423,4	2561,7	0,4781	8,3927	33
34	0,05324	1,0056	26,571	142,50	2422,0	142,50	2421,0	2563,5	0,4917	8,3728	34
35	0,05628	1,0060	25,216	146,67	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	8,3531	35
36	0,05947	1,0063	23,940	150,85	2424,7	150,86	2416,2	2567,1	0,5188	8,3336	36
38	0,06632	1,0071	21,602	159,20	2427,4	159,21	2411,5	2570,7	0,5458	8,2950	38
40	0,07384	1,0078	19,523	167,56	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	8,2570	40
45	0,09593	1,0099	15,258	188,44	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	8,1648	45

11 ANEXO D - CARGA TÉRMICA DA SALA 21 CALCULADA ANALITICAMENTE

Considerações a respeito do espaço físico:

Para calcular a carga térmica do prédio do Centro Tecnológico III, foram utilizados os dados de algumas tabelas (referencia) e foram feitas algumas considerações:

Pé direito de 2,80m;

Todas as paredes são de tijolo comum de uma vez com 15 cm e revestida com emboço com 2 cm interna e externamente;

Filme de vento exterior de 24 km/h;

Há infiltrações de ar pelas portas e janelas;

Há presença de carga térmica de ventilação;

Dentro dos ambientes considerado ar parado;

Não há influencia do piso;

Local de referência: Vitoria – Espírito Santo, Altitude: 4m, $T_e = 33,1^{\circ}\text{C}$ e $TBU = 26,6^{\circ}\text{C}$, $UE1 = 0,213 \text{ Kg/Kg}$ considerado dia mais critico;

Condições Internas: $T_i = 22^{\circ}\text{C}$, $UR = 67\%$ e $UE2 = 0,119 \text{ Kg/Kg}$

Salas grandes 40 alunos e 1 professor;

Composição das paredes:

Paredes Externas: (tijolo comum de uma vez com 15 cm e revestida com emboço com 2 cm interna e externamente com filme exterior com vento)

Emboço de 2cm	$C = 2,39 \text{ kcal/h.m}^2.^{\circ}\text{C}$
---------------	------------------------------------------------

Tijolo uma vez comum 15cm	$C = 0,15/1,11 \text{ kcal/h.m}^2.^{\circ}\text{C}$
---------------------------	-----------------------------------------------------

Filme exterior (vento de 24 km/h)	$h = 29,3 \text{ kcal/h.m}^2.^{\circ}\text{C}$
-----------------------------------	------------------------------------------------

Filme interior (parado)	$h = 7,96 \text{ kcal/h.m}^2.^{\circ}\text{C}$
-------------------------	------------------------------------------------

$$R = (1/h) + (1/C)$$

$$R = (1/29,3) + (1/2,39) + (0,15/1,11) + (1/2,39) + (1/7,96)$$

$$R = 1,13 \text{ h.m}^2.^{\circ}\text{C/kcal}$$

$$U = 1/R$$

$$U = 1/1,13$$

$$U = 0,88 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

Paredes Divisorias: (tijolo comum de uma vez com 15 cm e revestida com emboço com 2 cm interna e externamente com filme exterior sem vento)

Emboço de 2cm	$C = 2,39 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$
Tijolo uma vez comum 15cm	$C = 0,15/1,11 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$
Filme exterior (parado)	$h = 7,96 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$
Filme interior (parado)	$h = 7,96 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$

$$R = (1/h) + (1/C)$$

$$R = (1/7,96) + (1/2,39) + (0,15/1,11) + (1/2,39) + (1/7,96)$$

$$R = 1,22 \text{ h.m}^2.\text{°C/kcal}$$

$$U = 1/R$$

$$U = 1/1,22$$

$$U = 0,81 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

Para o teto das salas: (laje de concreto areia e brita com 10cm de espessura e revestida com emboço com 2 cm internamente com filme exterior sem vento)

Emboço de 2cm	$C = 2,39 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$
Concreto areia e brita 10cm	$C = 0,1/1,48 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$
Filme exterior (parado)	$h = 7,96 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$
Filme interior (parado)	$h = 7,96 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$

$$R = (1/h) + (1/C)$$

$$R = (1/7,96) + (0,1/1,48) + (1/2,39) + (1/7,96)$$

$$R = 0,74 \text{ h.m}^2.\text{°C/kcal}$$

$$U = 1/R$$

$$U = 1/0,72$$

$$U = 1,36 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$$

Carga térmica de Parede (Q_p):

Parede nordeste:

$$Q_{NE} = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t]$$

$$Q_{NE} = 16,8 \times 0,88 \times [(33,1 - 22) + 8,30]$$

$$Q_{NE} = 286,80 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{NE} = 333,56 \text{ W}$$

Parede sudeste:

$$Q_{SE} = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t]$$

$$Q_{SE} = 33,6 \times 0,81 \times [(33,1 - 22) + 0]$$

$$Q_{SE} = 302,09 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{SE} = 351,34 \text{ W}$$

Parede sudoeste:

$$Q_{SO} = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t]$$

$$Q_{SO} = 16,8 \times 0,81 \times [(33,1 - 22) + 0]$$

$$Q_{SO} = 151,05 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{SO} = 175,67 \text{ W}$$

Parede noroeste:

$$Q_{NO} = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t]$$

$$Q_{NO} = 15,6 \times 0,88 \times [(33,1 - 22) + 8,3]$$

$$Q_{NO} = 266,32 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{NO} = 309,73 \text{ W}$$

Teto:

$$Q_T = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t]$$

$$Q_T = 72 \times 1,32 \times [11,10]$$

$$Q_T = 1086,91 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_T = 1264,07 \text{ W}$$

Carga total por condução:

$$Q_p = 2434,37 \text{ W}$$

Carga térmica através dos vidros (Q_v):

Fator de Proteção = 0,43 (Cortinas Brancas)

Fator Solar = 214 (20 de Fevereiro Às 15 Horas)

$$Q_v = 18,0 \times 214,00 \times 0,43$$

$$Q_v = 1665,36 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_v = 1926,34 \text{ W}$$

Carga térmica devida às pessoas (Q_{pe}):

Alunos:

$$Q_s = 40 \times 73,66$$

$$Q_s = 2946,66 \text{ W}$$

$$Q_l = 40 \times 26,00$$

$$Q_l = 1040 \text{ w}$$

Professor:

$$Q_s = 1 \times 85$$

$$Q_s = 85 \text{ W}$$

$$Q_l = 1 \times 47,67$$

$$Q_l = 47,67 \text{ W}$$

Carga total por pessoas:

$$Q_{Ts} = 3031,67 \text{ (sensível)}$$

$$Q_{Tl} = 1087,67 \text{ (latente)}$$

$$Q_{pe} = 4119,33 \text{ W}$$

Carga térmica devido a equipamentos (Q_i):

Iluminação:

$$Q_{ilu} = 12 \times 16$$

$$Q_{ilu} = 192 \text{ watts}$$

Computador:

$$Q_c = 10 \times 20,00$$

$$Q_c = 200 \text{ W}$$

Monitor:

$$Q_m = 10 \times 55,00$$

$$Q_m = 550,00 \text{ W}$$

Ventiladores (Motor e equipamento Dentro):

$$Q_v = 4 \times 336$$

$$Q_v = 1344 \text{ W}$$

Carga total devido aos equipamentos:

$$Q_i = Q_{ilu} + Q_c + Q_m + Q_v$$

$$Q_i = 2286,00 \text{ W}$$

Carga térmica devido a Infiltrações (Q_{in}):

Método das Frestas:

Janelas (Guilhotina com caxilho de madeira – Mal Ajustada): 8,8m de frestas

Portas (Bem ajustada): 0,8m de frestas

$$Q_{janelas} = 6,5 \times 8,8 = 57,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{portas} = 0,8 \times 6,5 = 5,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Total} = 62,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calor sensível:

$$Q_s = 0,29 \times 62,4 \times (33,1 - 22)$$

$$Q_s = 200,86 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_s = 233,61 \text{ W}$$

Calor latente:

$$Q_l = 583 \times (0,0213 - 0,01119) \times 1,20 \times 62,4$$

$$Q_l = 441,35 \text{ kcal/h}$$

$$Q_l = 513,29 \text{ W}$$

Carga térmica total de infiltração:

$$Q_{in} = Q_s + Q_l$$

$$Q_{in} = 746,9 \text{ W}$$

Carga térmica devido a Ventilação (Q_{ve}):

Vazão Eficaz:

Local: Sala de aula nível 3

$$V_{ef} = 41 \times 7,5 + 72,00 \times 0,9$$

$$V_{ef} = 372,3 \text{ L/s}$$

$$V_{ef} = 1340,28 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para uma eficiência de distribuição de ar na zona de 0,5 tem-se que a vazão de ar exterior a ser suprida na zona:

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z}$$

$$V_z = 372,3 / 0,5$$

$$V_z = 744,6 \text{ L/s}$$

$$V_z = 2680,56 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calor sensível:

$$Q_s = 0,29 \times 2680,56 \times (33,1 - 22)$$

$$Q_s = 8628,72 \text{ kcal/h}$$

$$Q_s = 10035,20 \text{ W}$$

Calor Latente:

$$Q_l = 583 \times (0,0213 - 0,01119) \times 1,20 \times 2680,56$$

$$Q_l = 18959,48 \text{ kcal/h}$$

$$Q_l = 22049,89 \text{ W}$$

Carga térmica total de ventilação (10% de segurança):

$$Q_{ve} = (Q_s + Q_l) \times 1,1$$

$$Q_{ve} = 35293,6 \text{ W}$$

Carga térmica Total (Q_{TOTAL}) Sala 21:

$$Q_{TOTAL} = Q_p + Q_v + Q_{pe} + Q_i + Q_{ve}$$

$$Q_{TOTAL} = 2434,37 + 1926,34 + 4119,33 + 2286,00 + 35293,6$$

$$Q_{TOTAL} = 46059,04 \text{ W}$$