

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

18

**Software para Cálculo de Carga Térmica em Câmaras
Frigoríficas**

Patrick Toshimi Minamizaki

Orientador: Flávio Augusto Sanzovo Fiorelli



17/12/04

São Paulo
2004

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Software para Cálculo de Carga Térmica em Câmaras
Frigoríficas**

**Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia**

Patrick Toshimi Minamizaki

Orientador: Flávio Augusto Sanzovo Fiorelli

Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia

Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia

Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia

Trabalho de formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em Engenharia

Sumário

1	<i>Introdução</i>	1
2	<i>Pesquisa de Mercado</i>	2
3	<i>Fundamentos Teóricos</i>	6
3.1	Condições de Estocagem	6
3.2	Carga Térmica	7
3.2.1	Fatores da Carga Térmica	7
3.2.2	Carga Térmica por Transmissão	8
3.2.3	Carga Térmica de Produto	11
3.2.4	Carga Térmica de Infiltração	14
3.2.5	Carga Térmica Diversas	15
3.2.6	Carga Total	16
4	<i>Software de Carga Térmica</i>	17
5	<i>Espessura Ótima de Isolamento</i>	27
5.1	Isolantes Térmicos	27
5.1.1	Conservação da Energia e Redução dos Custos	29
5.1.2	Determinação da Espessura de Isolamento Necessária	32
5.1.3	Isolamento em Câmaras Frigoríficas	34
5.2	Estudo de Espessura Ótima de Isolamento utilizando o Software	35
6	<i>Considerações Finais</i>	37
7	<i>Bibliografia</i>	38

Lista de Figuras

<i>Figura 1 - Tela de Dados Iniciais do SR2000®</i>	3
<i>Figura 2 – Tela de Produto do SR2000®</i>	4
<i>Figura 3 - Tela de Resultado do SR2000®</i>	5
<i>Figura 4 - Tela de Apresentação</i>	18
<i>Figura 5 - Tela Principal</i>	19
<i>Figura 6 - Tela Dados Iniciais</i>	19
<i>Figura 7 - Tela Carga de Transmissão</i>	20
<i>Figura 8 - Tela Parede Norte</i>	21
<i>Figura 9 - Tela Parede Oeste</i>	22
<i>Figura 10 - Tela Carga de Produto</i>	23
<i>Figura 11 - Tela Carga de Infiltração</i>	24
<i>Figura 12 - Tela Carga Interna</i>	25
<i>Figura 13 - Tela Principal após Cálculo de Cargas Parciais</i>	25
<i>Figura 14 - Tela de Aviso de Alerta</i>	26

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Condutividade Térmica de Diversos Materiais</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 2 - Valores de Correção do Efeito de Insolação(°C).....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 3 - Tabela de Produtos</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 4 – Eficiência de Isolamento.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 5 Custo de Isolante por m².....</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 6 Cargas Térmicas e Custo de Energia Elétrica em função da Espessura.....</i>	<i>36</i>

Lista de Gráficos

<i>Gráfico 1 - Composição Gráfica de Custos.....</i>	<i>30</i>
<i>Gráfico 2 Espessura Ótima de Isolamento</i>	<i>36</i>

1 Introdução

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento um software para cálculo da carga térmica em câmaras frigoríficas, a ser futuramente disponibilizado como ferramenta didática para os alunos de graduação da EPUSP na disciplina PME2513, Refrigeração Industrial e Comercial.

Inicialmente é apresentados um estudo de softwares de cálculo disponíveis no mercado, suas potencialidades, as funções e rotinas utilizadas. A seguir são discutidas as condições adequadas de armazenamento e estocagem dos diversos tipos de alimentos.

Posteriormente são apresentados diversos aspectos sobre o desenvolvimento do software e suas rotinas. Para tanto foi utilizado, como linguagem de programação, o Visual Basic™.

Finalizando o trabalho são apresentados um exemplo de aplicação do software e uma comparação entre os possíveis materiais utilizados como isolantes térmicos.

Os códigos de Linguagem de programação em Visual Basic™ encontra-se no Anexo I.

2 Pesquisa de Mercado

Feita a pesquisa de mercado foi possível analisar alguns softwares:

1. Selector 1.0® - Apresenta dimensionamento multicâmara, onde em um só projeto poderão constar dados e resultados de diversas câmaras;
2. KFCalc® - Permite ao usuário a introdução de novos dados produtos a conservar, com seus respectivos valores de calor específico, ponto de congelamento, calor de respiração, entre outros;
3. SR2000® -O único "freeware" e pode ser analisado mais profundamente. Contém informações específicas para cálculo de capacidade (tipo de isolante, propriedades dos produtos) e também informações técnicas de catálogo para o selecionamento de tubulação, evaporador e unidade condensadora.

A figura a seguir ilustra o SR2000® em uma de suas telas:

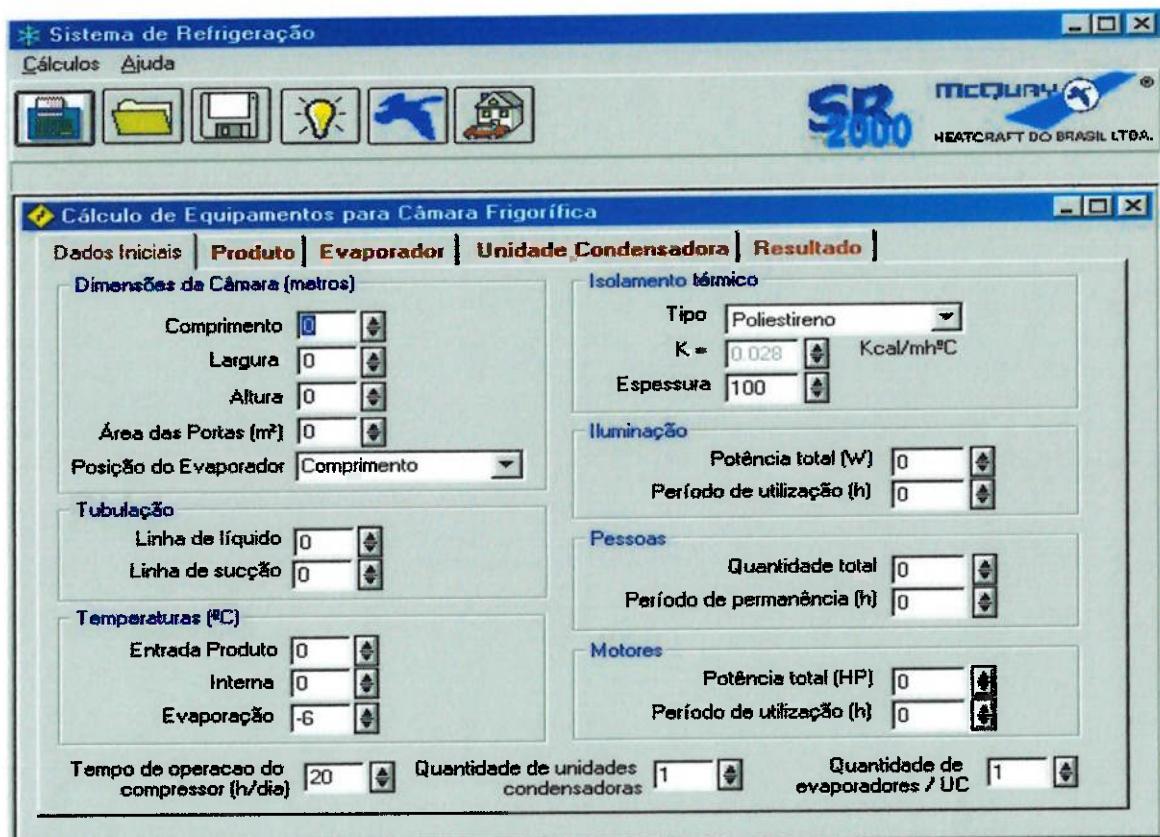


Figura 1 - Tela de Dados Iniciais do SR2000®

O funcionamento desse software é simples, na tela de dados iniciais, o usuário entra com as dimensões da câmara, tubulação, temperaturas do produto e de estocagem, o tipo de isolamento, a carga de iluminação, número de pessoas na câmara e motores, contando com o período de utilização de cada.

A tela mostrada a seguir, o usuário seleciona pode selecionar o produto por classe e em seguida informa a carga (kg) a ser estocada e período de processo. Assim o programa indica as características do produto.

Figura 2 – Tela de Produto do SR2000®

As próximas telas servem para seleção de evaporador e unidade condensadora, visto que a HeatCraft do Brasil Ltda produz esses equipamentos e nessas telas aparecem os equipamentos de acordo com a entrada dos dados iniciais e o produto.

A última tela é o resultado onde aparece a carga térmica total da câmara frigorífica em questão, a unidade condensadora, evaporador, válvulas de expansão, tubulação e massa de refrigerante.

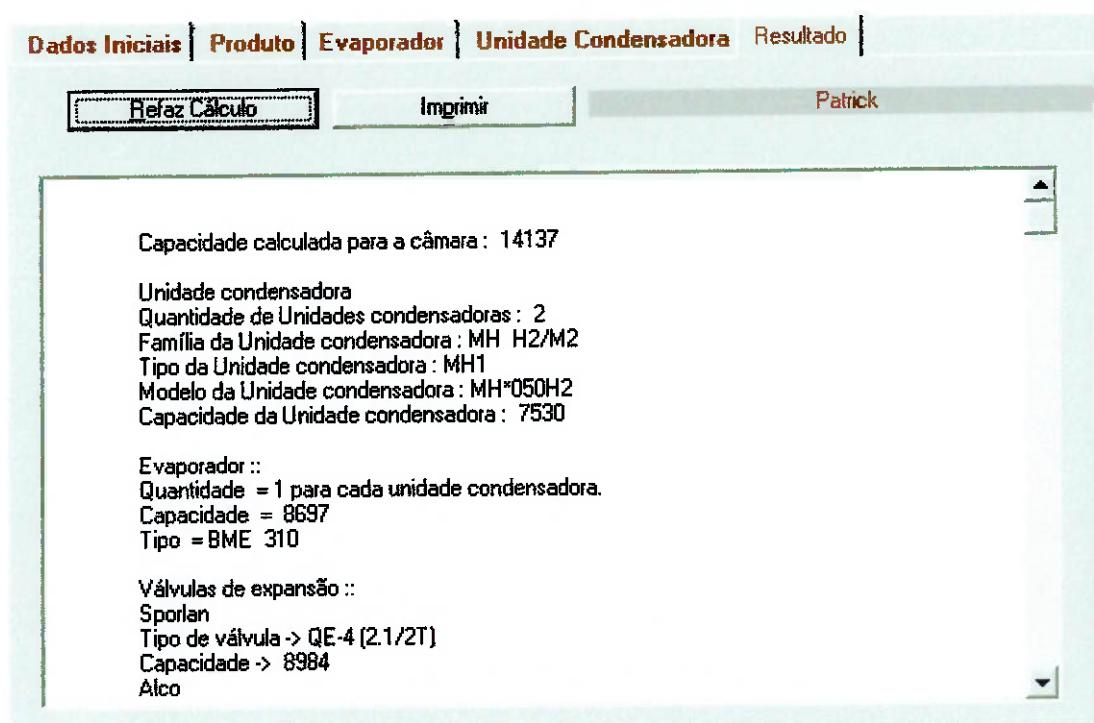


Figura 3 - Tela de Resultado do SR2000®

3 Fundamentos Teóricos

3.1 Condições de Estocagem

O armazenamento de alimentos exige uma série de cuidados como temperatura de estocagem, separação e distribuição na câmara dos gêneros alimentícios, cuidados no transporte dos alimentos, a umidade relativa para alguns alimentos como verduras necessitam de uma atenção maior onde a umidade deve ser em torno de 90%.

Para evitar problemas de contaminação existe normas e legislações regulamentadas pelo governo federal pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e a entidade responsável pela fiscalização é a vigilância sanitária (ANVISA).

Os regulamentos técnicos dos alimentos podem ser encontrados no site do Ministério (<http://www.agricultura.gov.br>) onde apresentam a descrição, referências, composição e requisitos, aditivos e coadjuvante de tecnologia/elaboração, contaminantes, higiene, pesos e medidas, métodos de análise físico-químicos e amostragem. O tópico de armazenamento encontra-se dentro de higiene, onde estão de acordo com o estabelecido no Código Internacional Recomendado de Higiene para os produtos.

3.2 Carga Térmica

A carga térmica é a quantidade de calor que necessita ser retirada de uma instalação, no caso frigorífica. Esse calor provém das trocas através das paredes, teto e piso, do produto estocado, das pessoas, equipamentos e infiltração de ar pela porta.

O cálculo de carga térmica é feito geralmente para 24 horas de operação, porém os equipamentos funcionam menos que 24 horas por dia, a fim de permitir a manutenção, a operação de degelo, assim com uma reserva de capacidade para sobrecargas momentâneas. Geralmente adota-se o valor de 16 horas diárias para câmaras que trabalham em temperaturas acima de 1°C e entre 18 e 20 horas para câmaras abaixo de 1°C.

3.2.1 Fatores da Carga Térmica

A fim de simplificar os cálculos de carga térmica de refrigeração de câmara frigorífica, a carga térmica total é dividida em um número de cargas individuais, de acordo com as fontes de calor suprindo a carga. A carga térmica total na refrigeração comercial é dividida da seguinte forma.

- Carga de Transmissão;
- Carga de Produto;
- Carga de Infiltração;
- Cargas Diversas.

3.2.2 Carga Térmica por Transmissão

Essa parcela, também chamada de carga de penetração ou de dispersão da parede, corresponde ao calor transmitido através das paredes, piso e teto da câmara frigorífica. O modelo de carga de penetração foi proposto por Remi, 1974. Em refrigeradores de armazenagem comercial, a carga de transmissão muitas vezes representa a porção maior da carga total.

$$Q_{transm} = U * A * (T_e - T_i + \Delta) * 24h \quad [\text{Kcal}/24]$$

Onde:

- U: Coeficiente Global de Transmissão de Calor;
- Te: Temperatura Externa;
- Ti: Temperatura Interna;
- Δ: Correção do Efeito de Insolação.

3.2.2.1 Cálculo do Coeficiente de Transmissão de Calor

O coeficiente é definido por:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e}{k} + \frac{1}{h_o} \quad [\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}]$$

Onde:

- ho: Coeficiente externo de transferência de calor por convecção;
- e: Espessura da camada;
- k: Condutividade térmica
- hi: Coeficiente interno de transferência de calor por convecção.

O coeficiente de transferência de calor por convecção e condutividade térmica são encontrados em tabelas conforme ilustrado a seguir:

Tabela 1 - Condutividade Térmica de Diversos Materiais

Material	Condutividade Térmica, W/m.K
Concreto	0,94
Cortiça	0,043
Espuma de Poliuretano	0,025
Fibra de Madeira	0,031
Fibra de Vidro	0,044
Lã de Rocha	0,028
Madeira	0,14
Papelão Corrug.	0,054
Poliestireno Expandido	0,037
Serragem	0,06
Tijolos	0,75
Vidro	0,70

3.2.2.2 Efeitos da Radiação Solar

Quando a posição das paredes de uma câmara frigorífica situa-se de tal forma que recebem uma quantidade excessiva de calor por radiação, ou do sol ou de algum outro corpo quente, a temperatura da superfície exterior da parede em geral, situar-se-á consideravelmente acima da temperatura do ar ambiente.

Esse efeito aumenta o diferencial de temperatura através da parede e deve ser corrigido para compensar o aumento de radiação. Superfícies suaves e claras tenderão a refletir e absorver menos energia radiante do que superfícies escuras e ásperas, conforme a norma abaixo.

Tabela 2 - Valores de Correção do Efeito de Insolação(°C)

Tipo de Superfície	Leste	Norte	Oeste	Teto
Escura	5	3	5	11
Média	4	3	4	8
Clara	3	2	3	5

3.2.3 Carga Térmica de Produto

A carga de produto é formada do calor que deve ser removido do produto refrigerado a fim de reduzir sua temperatura ao nível desejado e o calor devido à respiração do produto. Em algumas circunstâncias, o produto é congelado, neste caso o calor latente removido é também uma parte da carga do produto.

Mesmo que não seja importante em algumas aplicações, em outras ela representa praticamente a carga térmica completa. Quando a câmara de resfriamento é projetada para armazenamento antes de ser colocado na câmara e nenhuma carga de produto precisa ser considerada desde que este já esteja à temperatura de armazenagem.

3.2.3.1 Câmara de Resfriamento

Nesse caso a temperatura da câmara é superior a temperatura de congelamento do produto. Considera-se apenas o calor sensível a ser retirado do produto durante seu resfriamento.

$$Q_{prod} = m * cp * (T_p - T_i) \text{ [Kcal/24h]}$$

Onde:

- m: Massa do Produto;
- cp: Calor específico do Produto;
- T_p: Temperatura do produto;
- T_i: Temperatura interna da câmara.

3.2.3.2 Câmara de Congelamento

Nesse caso a temperatura do interior da câmara é inferior a temperatura de congelamento do produto. Considera-se o calor latente de congelamento do produto alem do calor sensível de resfriamento.

$$Q_{prod} = m * [cp * (Tp - Tc) + L + cpc * (Tc - Ti)] \text{ [Kcal/24h]}$$

Onde:

- m: Massa do produto;
- cp: Calor específico do produto;
- Tp: Temperatura do Produto;
- Tc: Temperatura de Congelamento do Produto;
- L: Calor Latente de Solidificação do Produto;
- Cpc: Calor Específico do Produto após Solidificação;
- Ti: Temperatura Interna da Câmara.

3.2.3.3 Carga Térmica de Respiração

É a carga proveniente do metabolismo dos vegetais e frutas, gerando CO₂ e vapor de água a partir do consumo de O₂ mesmo depois de colhidos.

Tabela 3 - Tabela de Produtos

Produto	Tc	Cp	Cpc	L	Calor de Respiração(mW/Kg)				
					0°C	2°C	5°C	10°C	15°C
Frutas									
Abacaxi	-1,4	3,68	1,88	284,6			42,71	68,4	48,13
Banana	-2,2	3,35	1,76	251,2					102,03
Cereja	-3,3	3,64	1,88	280,5	18,52	24,42	37,09	68,11	126,26
Figo Fresco	-2,7	3,43	1,80	259,5					
Laranja	-2,2	3,77	1,93	288,8	7,75	9,55	14,81	28,07	46,35
Limão	-2,2	3,85	1,93	297,2	7,81	10,24	15,1	24,94	35,65
Maçã	-2,0	3,60	1,88	280,5	13,54	17,53	23,67	51,27	73,26
Manga	0,0	3,77	1,93	309,8					
Melancia	-1,5	4,06	2,01						
Melão	-1,7	3,93	2,01						
Morango	-1,2	3,85	1,97	301,4	40,51	51,97	68,4	131,83	188,02
Pera	-2,0	3,60	1,88	272,1	9,2	16,61	39,29	39,81	104,98
Pêssego	-1,4	3,77	1,93	288,8	15,86	19,79	33,22	78,13	109,84
Verdura e Hortaliças									
Abóbora	-1,0	3,85	1,97	301,4					
Alface	-0,5	4,02	2,01	318,1	35,36	39,12	46,41	86,69	150,12
Batata	-2,0	3,43	1,8	259,5	18,29	17,59	15,86	19,56	28,07
Beterraba	-0,5	3,77	1,93	293	15,63	21,47	32,99	56,13	94,04
Brócolis	-1,5	3,85	1,97	301,4					
Cebola	-1,0	3,77	1,93	288,8	15,63	17,07	20,49	28,53	39,06
Cenoura	-1,5	3,77	1,93	293	19,1	28,13	33,68	37,85	85,47
Couve-Flor	-1,0	3,89	1,97	305,6	43,92	53,01	65,91	131,89	234,43
Repolho	-1,0	3,93	1,97	305,6	19,5	23,21	31,77	45,14	69,56
Tomate Verde	-0,9	3,98	2,01	309,8	15,63	17,82	23,21	36,63	70,78
Carnes									
Carne Bovina	-1,7	3,21	1,75	212					
Carne Suína	-2,2	2,21	1,3	118					
Presunto	-1,7	2,76	1,55	188,4					
Linguiça	-1,7	2,22	1,3	129,8					
Frango	-2,8	3,35	1,76	251,2					
Bacalhau	-2,2	3,56	1,84	276,3					
Salmão	-2,2	3,01	1,63	217,7					
Diversos									
Manteiga	-1,0	1,51	1,05	54,4					
Leite Integral	-0,5	3,89	1,93	293					
Ovo	-2,2	3,06	1,97	226					
Margarina		1,46	1,09	62,8					
Açucar		2,05	1,3	121,4					

3.2.4 Carga Térmica de Infiltração

O ganho de calor do espaço resultante de trocas de ar no espaço refrigerado é difícil de determinar com alguma exatidão real, exceto nos poucos casos quando uma quantidade conhecida de ar é introduzida no espaço para ventilação. Quando a massa de ar exterior que entra no espaço num período de 24 horas é conhecida, a carga térmica, resultante das trocas de ar, depende da diferença na entalpia do ar em condições internas ou externas e pode ser calculado aplicando-se a seguinte equação:

$$Q_{\text{inf}} = N * V * \rho * (h_o - h_i) [\text{Kcal}/24\text{h}]$$

Onde:

- N: Número de trocas de ar;
- V: Volume da câmara;
- ρ : Massa específica do ar externo;
- ho: Entalpia do ar externo;
- hi: Entalpia do ar interno.

3.2.5 Carga Térmica Diversas

Consiste principalmente em calor cedido por pessoas trabalhando e por luzes que funcionam no espaço. A carga cedida pelas pessoas é dada por:

$$Q_{pessoas} = N * (272 - 6 * Ta) \text{ [kW]}$$

Onde:

N: Número de pessoas;

Ta: Temperatura de Armazenamento.

A carga cedida pela iluminação é dada por:

$$Q_{ilum} = 11 \frac{W}{m^2} * Apiso \text{ [kW]}$$

3.2.6 Carga Total

A carga total de 24 horas é dada pela soma das cargas parciais com o acréscimo de 10% como fator de segurança.

$$Q_{total} = (Q_{transm} + Q_{inf} + Q_{produtos} + Q_{diversos}) * 1,10$$

Depois que o fator de segurança foi adicionado, a carga de 24 horas é dividida pelo tempo de operação desejado pelo equipamento para determinar a carga média em W/h. A carga média horária é usada como base para a seleção do equipamento.

4 Software de Carga Térmica

Será apresentado a seguir o software e o teste utilizando um exemplo de projeto de carga térmica. As telas serão mostradas com os dados do projeto incluídos. Uma observação importante, é que o Visual Basic possui configuração americana, então o usuário deve entrar no painel de controle/opções regionais e de idioma e configurar padrões e formatos em Inglês (Estados Unidos) para a aceitação da digitação por parte do usuário de vírgulas nos números decimais.

Os dados da câmara são apresentados a seguir:

- Cidade: São Paulo;
- Temperatura externa de projeto: 31,9 °C;
- Temperatura de armazenamento: 4 °C;
- Velocidade de vento: 4 m/s;
- Dimensões: 24x36x2,5m;
- Isolante Térmico: Poliestireno Expandido
- Espessura de Isolante: 75 mm;
- Espessura de Parede (Concreto): 250 mm nas paredes e 200 mm no teto e piso;
- Cor de parede: Clara
- Somente parede Oeste é externa com efeito de insolação;
- Produto: Hortaliças e Verduras;
- Embalagem de Madeira;
- Número de Pessoas: 2.
- Horas Reais de Trabalho: 16 horas

O software inicia com a tela “Abertura” como mostrado na Figura 4. Essa tela é apenas a tela de acesso ao programa.

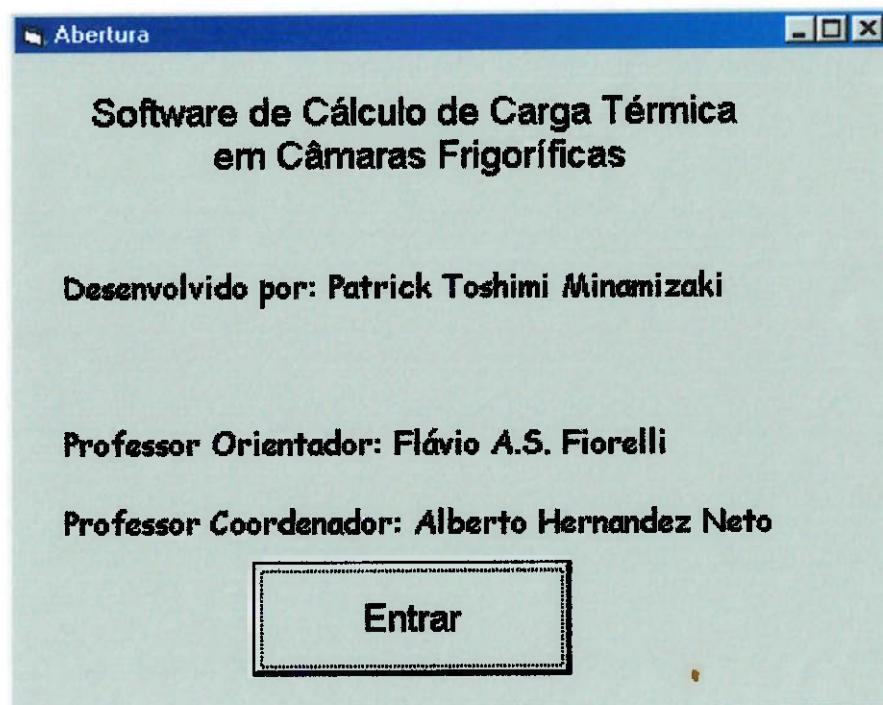


Figura 4 - Tela de Apresentação

Clicando no botão entrar o usuário tem acesso a tela principal a seguir:

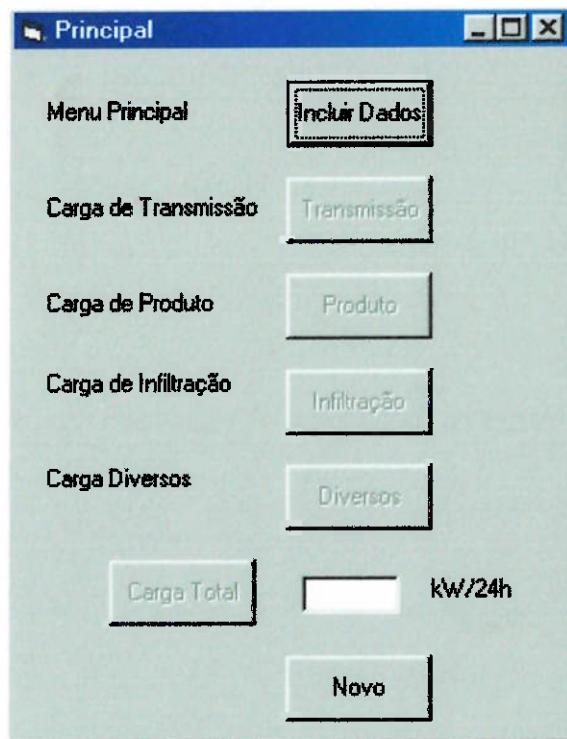


Figura 5 - Tela Principal

Aqui a única opção disponível é o botão de acesso aos dados iniciais, os outros botões estarão disponíveis conforme o preenchimento dos cálculos das cargas parciais.

Na tela “Dados Iniciais” o usuário informa ao software dados básicos para o cálculo de carga térmica e a temperatura externa de projeto como pode ser observado na Figura 6.

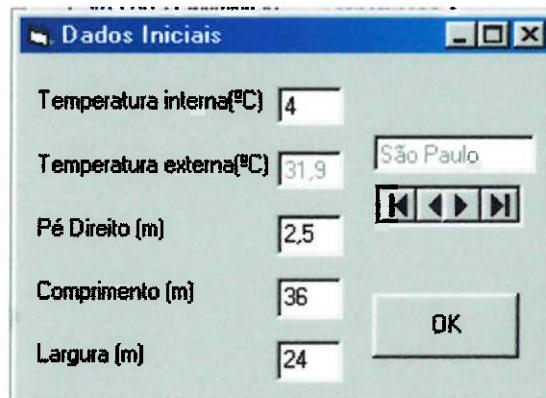


Figura 6 - Tela Dados Iniciais

Após o preenchimento de todos os dados iniciais e clicando em “OK”, o programa volta à tela “Principal” e disponibiliza o botão de cálculo de **Carga de Transmissão**, selecionando a parede desejada ou teto e piso. Após todos as cargas de transmissão o usuário calcula a carga total de transmissão e volta a tela “Principal”.

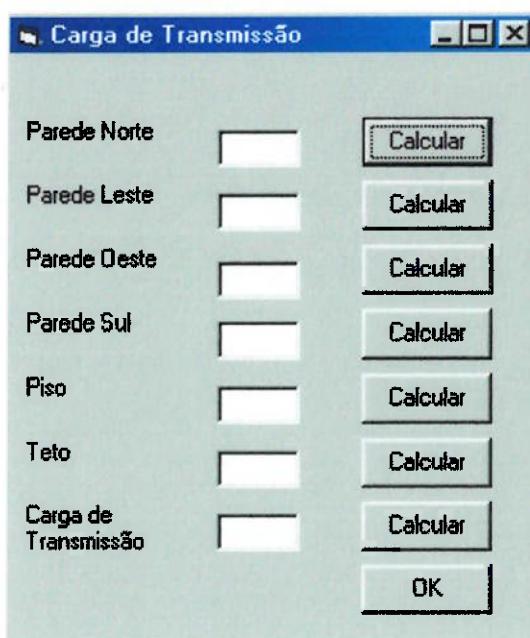


Figura 7 - Tela Carga de Transmissão

É necessário informar nas telas de carga de transmissão o comprimento da parede, as espessuras de material, a tonalidade de cor da parede, a velocidade do vento externo e se a parede for interna, tem-se a possibilidade de informar a temperatura externa caso contrário o programa utiliza a temperatura externa de projeto e corrige pelo efeito de insolação, conforme ilustrado na Figura 8 e Figura 9.

Observa-se a disponibilidade de dois materiais na parede, um seria o isolante (poliestireno expandido) e outro o material estrutural da parede (concreto).

É necessário a seleção do tipo de parede (Externa ou Interna), no caso de externa o usuário deve selecionar a cor de parede (Clara, Média ou Escura) ou no

caso de parede interna, inserir o valor da temperatura externa à parede. Uma outra seleção importante é o valor da convecção externa (Velocidade de vento 3,4 m/s ou 6,7 m/s. Caso o usuário não tenha feito alguma seleção necessária o programa avisa e só libera o botão de cálculo após as seleções.

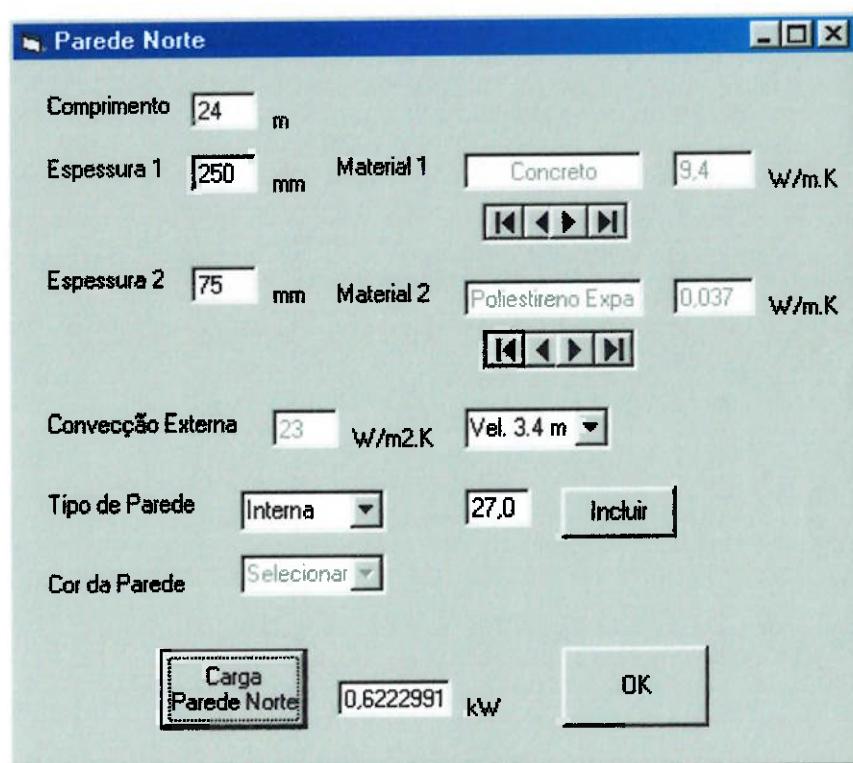


Figura 8 - Tela Parede Norte

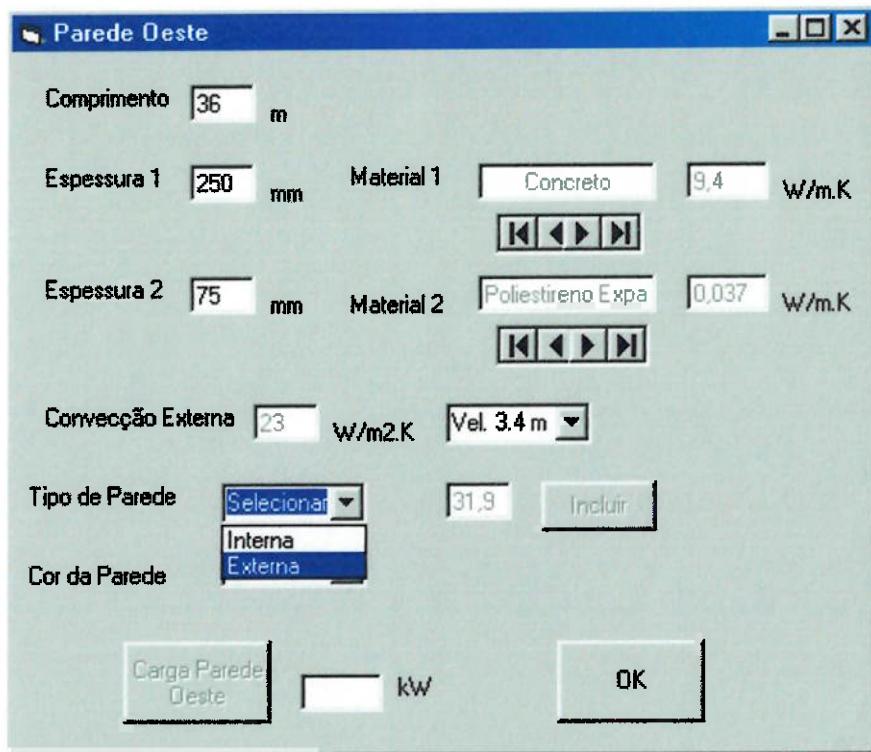


Figura 9 - Tela Parede Oeste

Após o cálculo das cargas de transmissão a tela de **Carga de Produtos** na Figura 10 fica disponível em seguida, nela o usuário deve inserir a carga e a temperatura de entrada do produto, selecionar o produto, o tipo de produto, o material da embalagem. Se o produto for um vegetal, deve também selecionar a temperatura de armazenagem desejada, para se ter um melhor cálculo do calor de respiração.

A carga de produto deve ser calculada uma a uma, clicando no botão de inserção da carga do produto selecionado. Ao fim da inclusão das cargas o usuário parte pra carga de infiltração. Caso houver algum erro, existe a possibilidade de apagar os valores inseridos, necessitando iniciar o processo novamente.

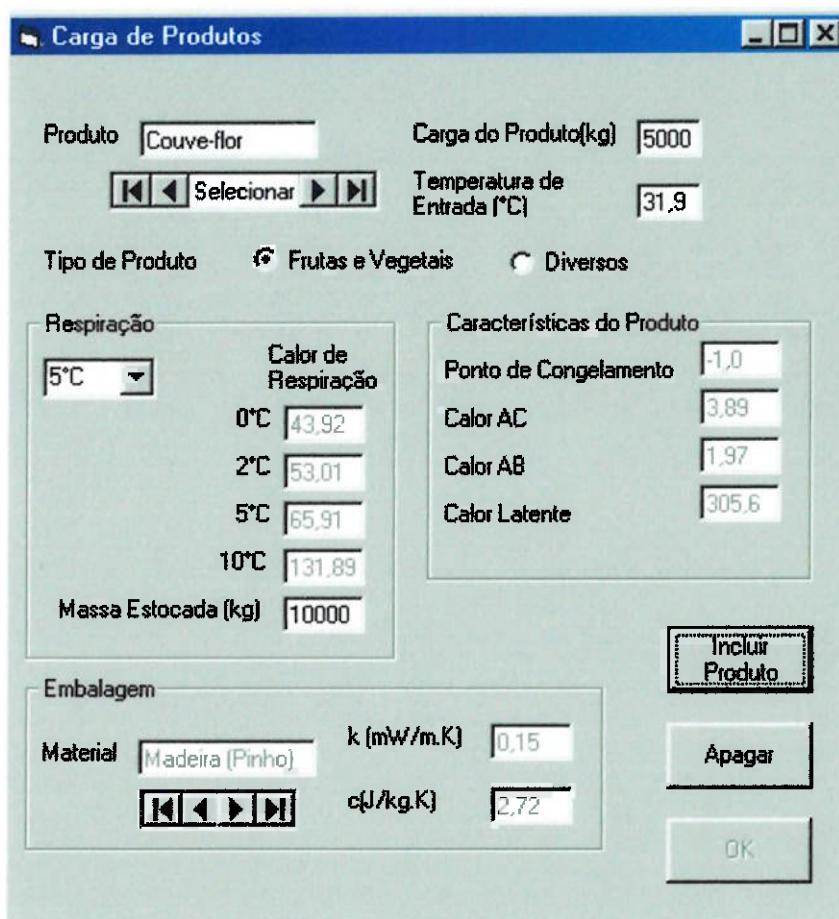


Figura 10 - Tela Carga de Produto

A tela seguinte é relacionada à **Carga de Infiltração** onde o volume da câmara já está disponível, sem necessidade de digitação, entretanto, o volume tabelado é selecionado no scroll bar.

As entradas de propriedades do ar são definidas pelo usuário como ilustrado a seguir.

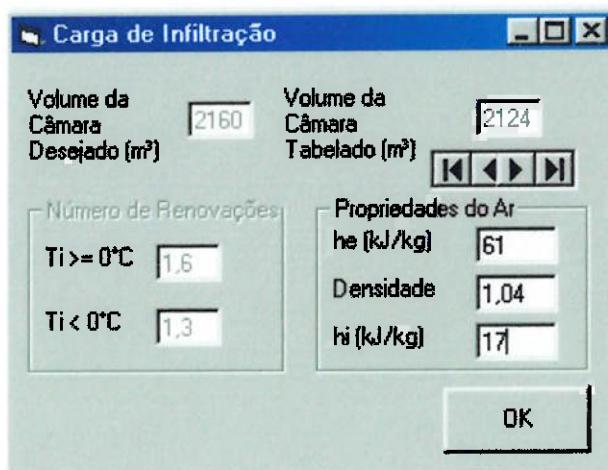


Figura 11 - Tela Carga de Infiltração

As **Cargas de Dissipação Interna**, relacionadas às pessoas e iluminação são calculadas na tela de carga interna. Como é mostrada na figura abaixo, a informação necessária é o número de pessoas, a área do piso já aparece automaticamente. Após os cliques em calcular o usuário retorna a tela principal (Figura 5 - Tela Principal) e calcula a carga total da câmara.

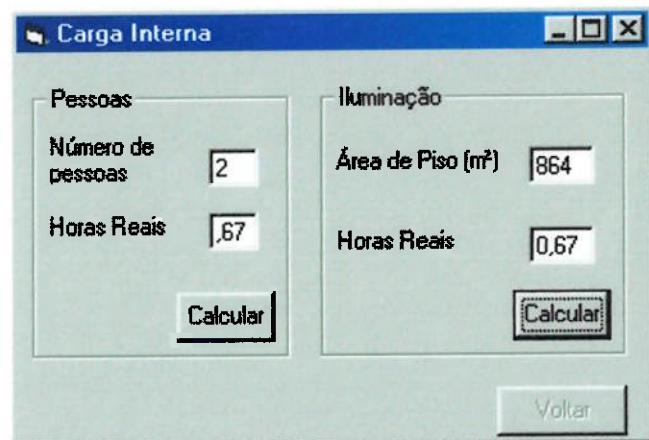


Figura 12 - Tela Carga Interna

O cálculo final simplesmente soma as cargas parciais, acrescentando 10%, conforme a norma. A carga apresentada é a carga total para 24h de funcionamento de equipamento, para o exemplo o valor encontrado foi de 29,63kW/24h.

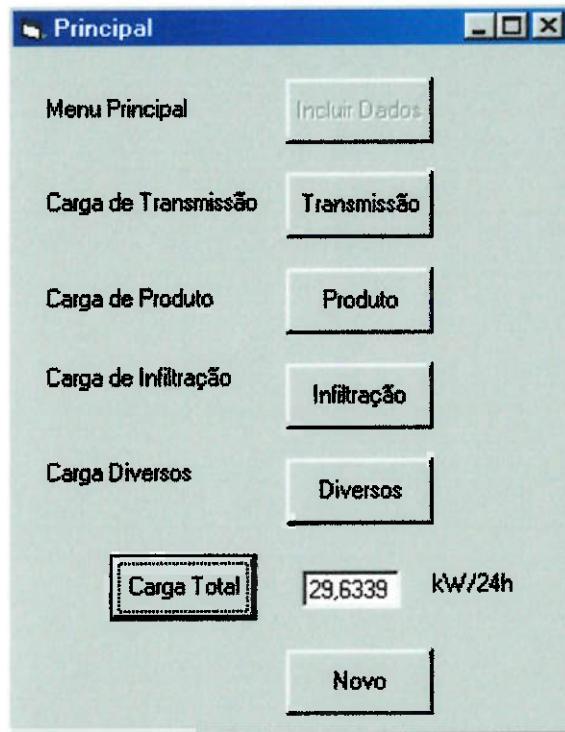


Figura 13 - Tela Principal após Cálculo de Cargas Parciais

Quando o usuário por algum motivo esquecer de inserir um valor necessário para o cálculo das cargas parciais, em qualquer tela o software mostra um sinal de alerta, Figura 14 , e o programa só prossegue após o preenchimento de todos os dados.

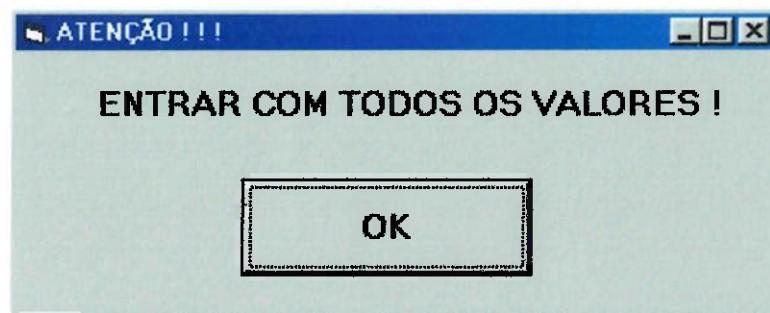


Figura 14 - Tela de Aviso de Alerta

5 Espessura Ótima de Isolamento

5.1 Isolantes Térmicos

A produção de alimentos congelados constitui um exemplo abrangente da utilização de sistemas de isolamento térmico na obtenção, estocagem, transporte e distribuição do produto.

Nas fábricas, os congeladores de baixa temperatura, que são recintos bem isolados, possibilitam o congelamento rápido dos alimentos imediatamente após serem processados. Em seguida, esses alimentos são embarcados em veículos refrigerados e mantidos congelados até chegarem ao consumidor final.

Mesmo os consumidores finais dependem do isolamento térmico para conservar os alimentos até o seu consumo, principalmente em um país tropical como o Brasil.

Em um projeto de câmaras frigoríficas, a seleção do material isolante é de extrema importância, visto que a carga de transmissão pelas paredes representa uma grande parte da carga térmica total.

O isolamento térmico consiste na utilização de materiais ou sistemas que imponham resistência à propagação do calor, assim reduz a taxa de transmissão, devido ao seu baixo coeficiente de condutibilidade térmica. O isolamento tem com finalidade principal na câmara frigorífica:

- Reduzir o consumo de energia;
- Estabilidade do sistema operacional;
- Evitar condensação (respingo e corrosão);
- Proteção de estruturas.

A seleção do material deve ser definida pelas propriedades mecânicas e térmicas desejada a fim de se projetar de forma adequada o sistema de

montagem, espessura do isolamento, a película hidrófuga com a qual deve ser protegido.

Podem-se citar alguns materiais isolantes comercializados:

- Carbonato de magnésio
- Cimentos isolantes
- Concreto celular
- Cortiça expandida
- Espuma de borracha
- Espuma de vidro
- Espuma de poliuretano
- Fibras de madeira prensada
- Lã de escoria
- Lã de vidro
- Lã de rocha
- Lãs isolantes refratárias
- Massas isolantes
- Silicato de cálcio
- Multifolhados metálicos
- Papelão ondulado
- Perlita expandida
- Sílica diatomácea
- Sílica expandida
- Vermiculita expandida

Nas câmaras frigoríficas é mais comum a utilização de espuma de poliuretano, espuma de poliestireno expandido (isopor). Cortiça e fibra de vidro são menos utilizadas.

5.1.1 Conservação da Energia e Redução dos Custos

A importância da conservação de energia é essencial em qualquer projeto, ainda mais em câmaras frigoríficas e o isolamento térmico é uma das maneiras mais eficazes de se eliminar perdas de energia.

O aumento na espessura do isolante reduz a transmissão de calor, mas esse fato não significa um melhor dimensionamento do isolante, a medida que se aumenta a quantidade de isolante aumenta-se o custo do sistema, pois o acréscimo sucessivo de camadas isolantes não representa uma redução proporcional no calor perdido.

Para cada camada de isolante acrescentada, podemos definir a eficiência do sistema isolante com sendo:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Perdas_sem_isolamento} - \text{Perdas_com_isolamento}}{\text{Perdas_sem_isolamento}}$$

A tabela Tabela 4 mostra a vantagem relativa de se adicionar progressivamente material isolante a uma canalização de 65 mm, que opera a 300°C em um ambiente de ar calmo a 20°C.

Tabela 4 – Eficiência de Isolamento

Dx(mm)	Q(W/m)	Qo-Q	Eficiência(%)	Acréscimo(%)
0	2000	-	-	-
25	200	1800	90,00	90,00
50	130	1870	93,50	3,50
75	105	1895	94,75	1,25
100	90	1910	95,50	0,75

Observa-se que a inclusão de 25 mm de isolante já proporciona uma redução de 90% nas perdas energéticas, ou seja, não se deve deixar superfícies aquecidas sem isolamento.

O acréscimo de eficiência é decrescente para cada camada adicionada e por maior que seja a espessura sempre haverá perdas de uma parte da energia.

Perder energia significa um custo, por outro lado, o sistema de isolamento empregado para reduzir as perdas térmicas também tem seu custo. Para cada espessura de isolante o custo total terá dois componentes: o custo da inevitável perda de energia, que decresce com o aumento da espessura do isolamento, e o custo do sistema isolante, que aumenta com a espessura. O Gráfico 1 ilustra os custos de maneira esquemática:

- Custo da energia (custo do combustível x eficiência de utilização);
- Investimento de capital no equipamento gerador de calor e na distribuição da energia até o ponto de utilização;
- Custo do dinheiro para o investimento de capital (juros+comissões);
- Período de depreciação;
- Manutenção;
- Número de horas de operação por ano.

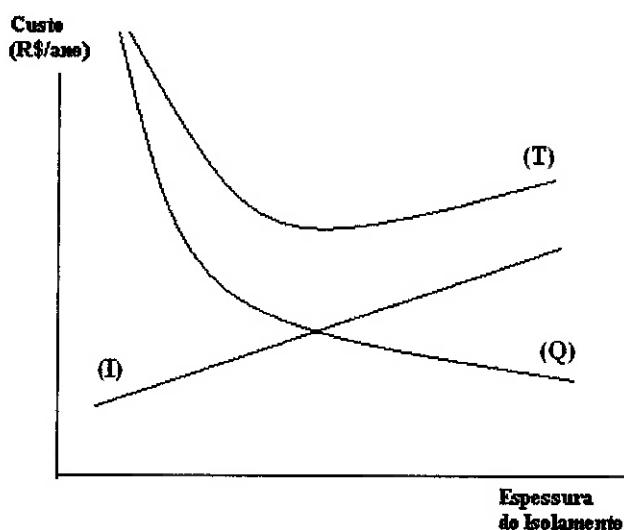


Gráfico 1 - Composição Gráfica de Custos

No Gráfico 1, Q representa o custo das perdas de energia, T corresponde à soma dos custos anuais das perdas de energia e do isolamento.

As curvas de custo total (T) apresentam um ponto de mínimo, que costuma ser chamado de “espessura econômica” ou “espessura ótima de isolante”.

5.1.2 Determinação da Espessura de Isolamento Necessária

A determinação da espessura necessária é feita por meio de aplicação dos princípios de transmissão de calor para cada caso. Um projeto bem elaborado deve seguir uma boa aplicação e seguir alguns critérios gerais, relacionados com pontos onde um esforço extra pode produzir resultados altamente compensadores, ao passo que a má qualidade de execução pode por a perder todo esforço empregado na elaboração de um bom projeto.

- a) Quanto maior for a diferença de temperatura entre as faces quente e fria, tanto mais cuidado deve ser tomado para isolar total e eficazmente a superfície, incluindo válvulas, flanges, peças de passagem, tampas. As superfícies não isoladas, com temperaturas na faixa do vapor superaquecido, permitem a transmissão de 25 a 30 vezes mais calor do que a mesma área de uma superfície adequadamente isolada.
- b) Todas as peças e componentes do isolamento devem se ajustar perfeitamente, e quaisquer espaços vazios produzidos pelas tolerâncias de fabricação devem ser obrigatoriamente preenchidos.

Todas as superfícies que constituem as juntas de topo entre trechos do isolamento devem ser vedadas e, no caso de haver mais de uma camada, todas as juntas devem ficar bem descasadas. A não observância desses pontos anula a eficácia do isolamento, em virtude da transmissão de calor por intermédio da circulação interna do ar contido nas diversas cavidades e aberturas.

A má qualidade do serviço no tocante a estes pontos não pode ser prontamente detectada muitas vezes, mas vira a ser constatada posteriormente pela elevada temperatura superficial do isolamento.

- c) Sempre que possível, as pequenas redes de drenagem de vapor devem ser agrupadas e isoladas como sendo uma única rede. A perda de calor em um trecho

de 300 mm de um tubo de 150 mm de diâmetro corretamente isolado e teoricamente, apenas cerca de duas a três vezes maior do que a de um tubo de 12 mm de diâmetro à mesma temperatura. Isto mostra claramente, que os tubos de pequeno diâmetro constituem uma das fontes principais de transmissão indesejável de calor.

d) É comum fazer com que os circuitos paralelos corram próximos um ao outro. Nesses casos, se importante que as redes sejam adequadamente isoladas uma da outra.

Não observar essas diretrizes pode comprometer a eficiência do sistema de isolamento, alem disso nos compartimentos fechados onde existam canalizações, maquinas e equipamentos, aumenta consideravelmente as transmissões indesejáveis de calor, comprometendo o conforto, a saúde e a eficiência do pessoal que trabalha nesses locais.

5.1.3 Isolamento em Câmaras Frigoríficas

A função mais importante do isolamento térmico em câmaras frigoríficas é manter a temperatura interna necessário na conservação do produto armazenado, evitando a degradação. Então um melhor isolamento e projeto garantem uma baixa taxa de calor transmitido.

Produtos como carnes e peixes podem ser armazenados por meses numa temperatura em torno de 20°C negativos sem uma perda significativa das suas características. Já as frutas e verduras necessitam serem armazenados em temperaturas próximas de 0°C para manter sua conservação.

O isolamento térmico de condutividade nula seria ideal, pois a menor troca de calor economizaria energia do sistema, entretanto uma espessura elevada traria custos excessivos de material e perda de área útil, indisponibilizando para outras aplicações.

Para o projeto de isolamento em câmaras frigoríficas utiliza-se a espessura ótima econômica, conforme o ilustrado.

5.2 Estudo de Espessura Ótima de Isolamento utilizando o Software

O estudo complementar de “Espessura Ótima de Isolamento” além de servir para complementar o teste do software, apresenta o software como ferramenta adicional também em problemas de custo do projeto da câmara. Será utilizado o exemplo mostrado no tópico de apresentação do software.

Primeiramente consultou-se a empresa Tecnotermo Isolantes Térmicos Ltda para se ter conhecimento dos custos para o Poliestireno Expandido encontrados no mercado, mostrado na Tabela 5 seguir:

Tabela 5 Custo de Isolante por m²

Esp.(pol)	Esp.(mm)	(R\$/m ²)
2	50,6	39,5
4	101,2	47,0
6	151,8	53,5

Para o cálculo do custo da energia elétrica consumida, será utilizada uma aproximação pelo COP de Carnot dado por:

$$COP_{carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Lembrando-se que $T_L = 4^\circ\text{C}$ (277K) e $T_H = 31,9^\circ\text{C}$ (304,9K).

Sabe-se que $COP_{real} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_{CP}}$ e $COP_{real} = 0,65 * COP_{CARNOT}$, Então o valor de

COPreal é de 6,45 e calcula-se as cargas térmicas de transmissão como mostrado na.tabela 6.

O custo da energia elétrica é de 19,66 R\$/kW no horário de pico e 5,68 R\$/kW nos horários fora de pico (entre 17h e 20h para São Paulo) o que dá um valor aproximado de 7,43 R\$/kW [8].

Tabela 6 Cargas Térmicas e Custo de Energia Elétrica em função da Espessura

Esp.(mm)	Par N	Par L	Par O	Par S	Piso	Teto	Q(kW)	Wcp(kW)	Cen(R\$)
50	1.086	1.150	1.629	1.086	15.13	16.72	36.8	5.70	42.35
75	0.755	0.787	1.132	0.755	11.93	12.40	27.79	4.31	31.98
100	0.579	0.704	0.868	0.579	8.187	9.314	20.23	3.13	23.28
125	0.469	0.484	0.704	0.469	6.658	7.626	16.41	2.54	18.89
150	0.394	0.449	0.592	0.394	5.611	6.455	13.85	2.15	15.94
200	0.299	0.406	0.448	0.299	4.268	4.939	10.7	1.66	12.32
250	0.241	0.361	0.361	0.241	3.444	4.000	8.65	1.34	9.96

Calculando os custo de isolamento e custo de energia elétrica pode-se então levantar a curva de custo total e encontrar a “Espessura Ótima de Isolamento” pelo gráfico 2:

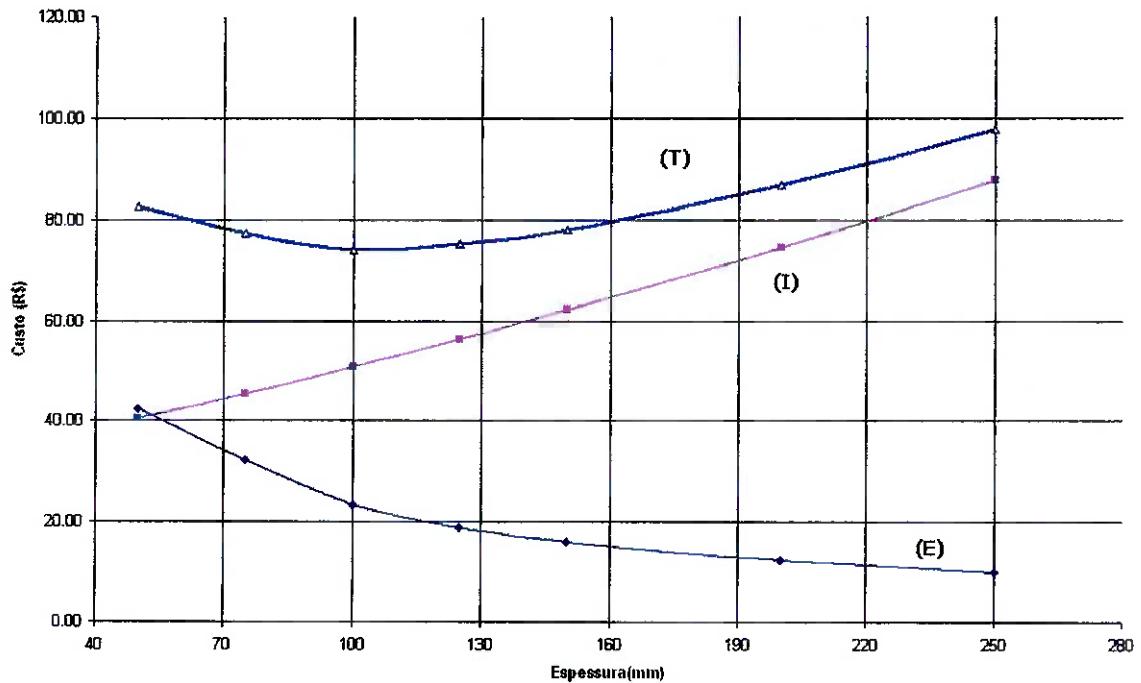


Gráfico 2 Espessura Ótima de Isolamento

É possível observar que a curva de Custo Total atinge seu mínimo em torno de 110 mm de espessura, dando uma relação de $\frac{\dot{Q}}{A} \approx 10,3 \frac{W}{m^2}$.

6 Considerações Finais

O software desenvolvido segue o modelo de projeto apresentado no manual de Refrigeração da ASHRAE. Após a conclusão de toda rotina do software foi possível implementar um projeto de câmara frigorífica.

Através do exemplo ilustrado e o estudo de espessura ótima de isolamento pode-se mostrar que o software apresenta-se como uma ferramenta de auxílio de projeto em câmaras frigoríficas. A estrutura e rotina do software foram desenvolvidas visando uma forma mais didática, pois será disponibilizada aos alunos de graduação da EPUSP na disciplina PME2513, Refrigeração Industrial e Comercial.

7 Bibliografia

- [1] ASHRAE Handbook of Refrigeration, ASHRAE, 2001
- [2] Dossat, R. J; Horan, T.J. Principles of Refrigeration, 5a. ed., Prentice Hall, 2001
- [3] Heatcraft do Brasil, <http://www.heatcraftbrasil.com.br/mcquay/download.htm>, 2004
- [4] Ministério da Agricultura, <http://oc4j.agricultura.gov.br/agrolegis/do/consultaLei>, 2004
- [5] Netto, A. C. Isolamento Térmico Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, 1996.
- [6] Neves Filho, L.N.; Armazenamento de Gêneros e Produtos Alimentícios, Governo do Estado de São Paulo, 1983
- [7] Pinheiro, A. P. Carga Térmica - métodos computacionais e desenvolvimento de cálculos, Revista Tecnologia da Refrigeração, ed. Abr, 2004.
- [8] Agência Nacional de Energia Elétrica, <http://www.aneel.gov.br>, 2004-12-10

Anexo I

Códigos em Linguagem Visual Basic

Sumário

1	<i>Tela de Abertura:</i>	3
2	<i>Tela de Dados Iniciais</i>	4
3	<i>Tela Principal da Carga de Transmissão</i>	5
3.1	<i>Tela de Carga de Transmissão Parede Norte</i>	7
3.2	<i>Tela de Carga de Transmissão Parede Leste</i>	10
3.3	<i>Tela de Carga de Transmissão Parede Oeste</i>	13
3.4	<i>Tela de Carga de Transmissão Parede Sul</i>	16
3.5	<i>Tela Carga de Transmissão Piso</i>	19
3.6	<i>Tela de Carga de Transmissão Teto</i>	20
4	<i>Tela de Carga de Produtos</i>	22
5	<i>Tela de Carga de Infiltração</i>	23
6	<i>Tela de Carga de Dissipação Interna</i>	24
7	<i>Tela de Aviso</i>	26
8	<i>Módulo de Variáveis</i>	27
9	<i>Tela principal do Software</i>	29

1 Tela de Abertura:

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
Principal.Show  
Unload Me
```

```
End Sub
```

2 Tela de Dados Iniciais

```
'Módulo Dados Iniciais *****
```

```
Private Sub cmdDadosIncluir_Click()
```

```
'Rotina de aviso de erro-----
```

```
If IsNumeric(txtDTi) = False Or IsNumeric(txtDTe) = False Or IsNumeric(txtDAltura) =
```

```
False Or IsNumeric(txtDComp) = False Or IsNumeric(txtDLargura) = False Then
```

```
Aviso.Show
```

```
Else
```

```
'-----
```

```
ti = txtDTi
```

```
te = txtDTe
```

```
alt = txtDAltura
```

```
comprimento = txtDComp
```

```
largura = txtDLargura
```

```
Infiltраo.txtIVolDesej.Text = comprimento * largura
```

```
ho1 = 8.3
```

```
ho2 = 9.3
```

```
ho3 = 6.1
```

```
Principal.cmdTransm.Enabled = True
```

```
Principal.cmdDadosIniciais.Enabled = False
```

```
Unload Me
```

```
End If' Fim da rotina de aviso de erro
```

```
End Sub
```

3 Tela Principal da Carga de Transmissão

```
Private Sub cmdParedel_Click()
```

```
    ParNorte.Show
```

```
    ParNorte.txtTTin.Text = te
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdParede2_Click()
```

```
    ParLeste.Show
```

```
    ParLeste.txtTTin.Text = te
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdParede3_Click()
```

```
    ParOeste.Show
```

```
    ParOeste.txtTTin.Text = te
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdParede4_Click()
```

```
    ParSul.Show
```

```
    ParSul.txtTTin.Text = te
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdPiso_Click()
```

```
    Piso.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdTeto_Click()
```

```
    Teto.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdTransmCalc_Click()
```

```
If IsNumeric(txtParedaN) = False Or IsNumeric(txtParedoS) = False Or
IsNumeric(txtParedoO) = False Or IsNumeric(txtParedoL) = False Or IsNumeric(txtPiso) =
False Or IsNumeric(txtTeto) = False Then
Aviso.Show

Else

Qtransm = QTransmN + QtransmL + QtransmO + QtransmS + QtransmT + QtransmP

txtTransmcarga.Text = Qtransm

End If

End Sub

Private Sub cmdTransmVolar_Click()

If IsNumeric(txttransmcarg) = False Then
Aviso.Show

Else

Principal.cmdProd.Enabled = True
Principal.Show
Unload Me

End If

End Sub
```

3.1 Tela de Carga de Transmissão Parede Norte

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Dim A As Double
Dim he As Double
Dim e1 As Double
Dim e2 As Double
Dim k1 As Double
Dim k2 As Double
Dim d As Double
Dim U As Double
Dim TempExt As Double
Dim inv As Double
Dim tp As Boolean
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ConvExt_Click()
```

```
If ConvExt.Text = "Vel. 3.4 m/s" Then
    txtconv = 23
    txtconv.Enabled = False

ElseIf ConvExt.Text = "Vel. 6.7 m/s" Then
    txtconv = 34
    txtconv.Enabled = False
```

```
ElseIf ConvExt.Text = "Entrar com valor" Then
    txtconv.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TipoParede_Click()
```

```
If TipoParede.Text = "Interna" Then
    Cor.Enabled = False
    txtTTin.Enabled = True
    cmdTo.Enabled = True
    tp = True
```

```
Else
```

```
Cor.Enabled = True
txtTTin.Enabled = False
cmdTo.Enabled = False
tp = False
```

```
End If
```

```
d = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Cor_Click()
```

```
cmdCTPar1.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdTo_Click()
```

```
TempExt = txtTTin
cmdCTPar1.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub txtTTin_Change()
```

```
cmdCTPar1.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdCTPar1_Click()
```

```
If IsNumeric(txtComp) = False Or IsNumeric(e1) = False Or IsNumeric(e2) = False Or
IsNumeric(cond1) = False Or IsNumeric(cond2) = False Or IsNumeric(txtconv) = False
```

```
Then
```

```
Aviso.Show
```

```
Else
```

```
ho1 = 8.3
```

```
he = txtconv
```

```
e1 = txtel * 0.001
```

```
e2 = txtel2 * 0.001
```

```
k1 = txtcond1
```

```
k2 = txtcond2
```

```
A = alt * txtComp
```

```
inv = (1 / ho1) + (e1 / k1) + (e2 / k2) + (1 / he)
U = 1 / inv
TempExt = txtTTin
```

```
If Cor.Text = "Escura" Then
d = 3
```

```
ElseIf Cor.Text = "Média" Then
d = 3
```

```
ElseIf Cor.Text = "Clara" Then
d = 2
```

```
End If
```

```
If tp = True Then
QtransmN = (U * A * (TempExt - ti)) / 1000
```

```
Else
QtransmN = (U * A * (te - ti + d)) / 1000
```

```
End If
```

```
txtParede1.Text = QtransmN
Transm.txtParedeN.Text = QtransmN
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmd1Voltar_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

3.2 Tela de Carga de Transmissão Parede Leste

' Rotina de Cálculo de Carga da Parede Leste *****

Private Sub Form_Load()

Dim A As Double

Dim he As Double

Dim e1 As Double

Dim e2 As Double

Dim k1 As Double

Dim k2 As Double

Dim d As Double

Dim U As Double

Dim tenova As Single

End Sub

' Seleção de Coeficiente de Convecção *****

Private Sub ConvExt_Click()

If ConvExt.Text = "Vel. 3.4 m/s" Then

txtconv = 23

txtconv.Enabled = False

ElseIf ConvExt.Text = "Vel. 6.7 m/s" Then

txtconv = 34

txtconv.Enabled = False

ElseIf ConvExt.Text = "Entrar com valor" Then

txtconv.Enabled = True

End If

End Sub

' Seleção do Tipo de Parede *****

Private Sub TipoParede_Click()

If TipoParede.Text = "Interna" Then

Cor.Enabled = False

txtTTin.Enabled = True

cmdTTin.Enabled = True

Else

```
Cor.Enabled = True
txtTTin.Enabled = False
cmdTTin.Enabled = False
End If

d = 0

End Sub

' Botão de Incluir nova Temperatura *****

Private Sub cmdTTin_Click()
tenova = txtTTin
cmdCTPar1.Enabled = True

End Sub

' Seleção da Tonalidade da Parede *****

Private Sub Cor_Click()
cmdCTPar1.Enabled = True

End Sub

Private Sub txtTTin_Change()
cmdCTPar1.Enabled = False

End Sub

' Cálculo da Carga da Parede Leste *****

Private Sub cmdCTPar1_Click()
If IsNumeric(txtComp) = False Or IsNumeric(e1) = False Or IsNumeric(e2) = False Or
IsNumeric(cond1) = False Or IsNumeric(cond2) = False Or IsNumeric(txtconv) = False
Then
Aviso.Show

Else
h01 = 8.3
he = txtconv
e1 = txte1 * 0.001
e2 = txte2 * 0.001
k1 = txtcond1
```

```
k2 = txtcond2
A = alt * txtComp
U = 1 / ((1 / ho1) + (e1 / k1) + (e2 / k2) + (1 / he))
tenova = txtTTin
```

```
If Cor.Text = "Escura" Then
d = 5
ElseIf Cor.Text = "Média" Then
d = 4
ElseIf Cor.Text = "Clara" Then
d = 3
```

```
End If
```

```
If TipoParede.Text = "Interna" Then
QtransmL = U * A * (tenova - ti) / 1000
Else
QtransmL = U * A * (te - ti + d) / 1000
End If
```

```
txtParede1.Text = QtransmL
Transm.txtParedeL.Text = QtransmL
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
' Comando de Voltar ****
```

```
Private Sub cmd1Voltar_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

3.3 Tela de Carga de Transmissão Parede Oeste

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Dim A As Double
Dim he As Double
Dim e1 As Double
Dim e2 As Double
Dim k1 As Double
Dim k2 As Double
Dim d As Double
Dim U As Double
Dim tenova As Double
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ConvExt_Click()
```

```
If ConvExt.Text = "Vel. 3.4 m/s" Then
    txtconv = 23
    txtconv.Enabled = False

ElseIf ConvExt.Text = "Vel. 6.7 m/s" Then
    txtconv = 34
    txtconv.Enabled = False
ElseIf ConvExt.Text = "Entrar com valor" Then
    txtconv.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TipoParede_Click()
```

```
If TipoParede.Text = "Interna" Then
    Cor.Enabled = False
    txtTTin.Enabled = True
    cmdNTo.Enabled = True

Else: Cor.Enabled = True
    txtTTin.Enabled = False
    cmdNTo.Enabled = False
```

```
End If
d = 0
```

```

End Sub

Private Sub cmdNTo_Click()
tenova = txtParTTin
cmdCTParO.Enabled = True

End Sub

Private Sub Cor_Click()
cmdCTParO.Enabled = True

End Sub

Private Sub txtTTin_Change()
cmdCTParO.Enabled = False

End Sub

Private Sub cmdCTParO_Click()
If IsNumeric(txtComp) = False Or IsNumeric(e1) = False Or IsNumeric(e2) = False Or
IsNumeric(cond1) = False Or IsNumeric(cond2) = False Or IsNumeric(txtconv) = False
Then
Aviso.Show
Else
h01 = 8.3
he = txtconv
e1 = txtel * 0.001
e2 = txtel * 0.001
k1 = txtcond1
k2 = txtcond2
A = alt * txtComp
U = 1 / ((1 / h01) + (e1 / k1) + (e2 / k2) + (1 / he))
tenova = txtTTin

If Cor.Text = "Escura" Then
d = 5
ElseIf Cor.Text = "Média" Then
d = 4
ElseIf Cor.Text = "Clara" Then
d = 3
End If

If TipoParede.Text = "Interna" Then

```

```
QtransmO = U * A * (tenova - ti) / 1000
Else
    QtransmO = U * A * (te - ti + d) / 1000
End If
```

```
txtParede1.Text = QtransmO
Transm.txtParedeO.Text = QtransmO
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmd1Voltar_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

3.4 Tela de Carga de Trasmissão Parede Sul

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Dim A As Double
Dim he As Double
Dim e1 As Double
Dim e2 As Double
Dim k1 As Double
Dim k2 As Double
Dim U As Double
Dim tenova As Double
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ConvExt_Click()
```

```
If ConvExt.Text = "Vel. 3.4 m/s" Then
    txtconv = 23
    txtconv.Enabled = False

ElseIf ConvExt.Text = "Vel. 6.7 m/s" Then
    txtconv = 34
    txtconv.Enabled = False
ElseIf ConvExt.Text = "Entrar com valor" Then
    txtconv.Enabled = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TipoParede_Click()
```

```
If TipoParede.Text = "Interna" Then
    txtTTin.Enabled = True
    cmdNTo.Enabled = True
```

```
Else
```

```
    txtTTin.Enabled = False
    cmdNTo.Enabled = False
```

```
End If
```

```

cmdCTParS.Enabled = True
End Sub

Private Sub cmdNTo_Click()
tenova = txtTin
cmdCTParS.Enabled = True
End Sub

Private Sub txtTTin_Change()
cmdCTParS.Enabled = False
End Sub

Private Sub cmdCTParS_Click()

If IsNumeric(txtComp) = False Or IsNumeric(e1) = False Or IsNumeric(e2) = False Or
IsNumeric(cond1) = False Or IsNumeric(cond2) = False Or IsNumeric(txtconv) = False
Then
Aviso.Show
Else
h01 = 8.3
he = txtconv
e1 = txtel * 0.001
e2 = txtel2 * 0.001
k1 = txtcond1
k2 = txtcond2
A = alt * Val(txtComp)
U = 1 / ((1 / h01) + (e1 / k1) + (e2 / k2) + (1 / he))
tenova = txtTTin

If TipoParede.Text = "Interna" Then
QtransmS = U * A * (tenova - ti) / 1000
Else
QtransmS = U * A * (te - ti) / 1000
End If

txtParede1.Text = QtransmS
Transm.txtParedeS.Text = QtransmS

End If

End Sub

```

```
Private Sub cmd1Voltar_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

3.5 Tela Carga de Trasmissão Piso

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Dim A As Double
Dim e1 As Double
Dim e2 As Double
Dim k1 As Double
Dim k2 As Double
Dim d As Double
Dim U As Double
txtTPisoConv = ho2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdCTPar1_Click()
```

```
If IsNumeric(txtComp) = False Or IsNumeric(e1) = False Or IsNumeric(e2) = False Or
IsNumeric(cond1) = False Or IsNumeric(cond2) = False Or IsNumeric(txtTPisoConv) =
False Then
Aviso.Show
```

```
Else
```

```
    e1 = txtE1 * 0.001
    e2 = txtE2 * 0.001
    k1 = txtCond1
    k2 = txtCond2
    A = largura * comprimento
    U = 1 / ((1 / ho2) + (e1 / k1) + (e2 / k2) + (1 / ho2))
```

```
    QtransmP = U * A * (te - ti) / 1000
```

```
    txtParede1.Text = QtransmP
    Transm.txtPiso.Text = QtransmP
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmd1Voltar_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

3.6 Tela de Carga de Transmissão Teto

' Carga do Teto *****

Private Sub Form_Load()

```
Dim A As Double
Dim he As Double
Dim e1 As Double
Dim e2 As Double
Dim k1 As Double
Dim k2 As Double
Dim d As Double
Dim U As Double
txtconv = ho3
```

End Sub

Private Sub Cor_Click()

cmdCTPar1.Enabled = True

End Sub

Private Sub cmdCTPar1_Click()

If IsNumeric(txtComp) = False Or IsNumeric(e1) = False Or IsNumeric(e2) = False Or IsNumeric(cond1) = False Or IsNumeric(cond2) = False Or IsNumeric(txtconv) = False Then

Aviso.Show

Else

he = txtconv

e1 = txtE1 * 0.001

e2 = txtE2 * 0.001

k1 = txtCond1

k2 = txtCond2

A = comprimento * largura

U = 1 / ((1 / ho3) + (e1 / k1) + (e2 / k2) + (1 / ho3))

If Cor.Text = "Escura" Then

d = 11

ElseIf Cor.Text = "Média" Then

d = 9

```
ElseIf Cor.Text = "Clara" Then
    d = 5
End If

QtransmT = U * A * (te - ti + d) / 1000

txtParede1.Text = QtransmT
Transm.txtTeto.Text = QtransmT

End If

End Sub

Private Sub cmd1Voltar_Click()
    Unload Me
End Sub
```

4 Tela de Carga de Produtos

'Comando de Volta a Tela Principal *****

```
Private Sub cmdPVoltar_Click()
```

```
Unload Mc
Principal.cmdInfilt.Enabled = True
Principal.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
optPDiv.Value = True
End Sub
```

```
Private Sub optPDiv_Click()
```

```
TempTab.Enabled = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub optPVerd_Click()
```

```
TempTab.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TempTab_Click()
```

```
If TempTab.Text = "0°C" Then
qresp = txtPResp0
ElseIf TempTab.Text = "2°C" Then
qresp = txtPResp2
ElseIf TempTab.Text = "5°C" Then
qresp = txtPResp5
ElseIf TempTab.Text = "10°C" Then
qresp = txtPResp10
```

```
End If
```

```
End Sub
```

5 Tela de Carga de Infiltração

' Rotina de Cálculo de Carga de Infiltração *****

```
Private Sub Form_Load()
Dim roae As Double
Dim hi As Double
Dim he As Double
Dim renov As Double
Dim V As Double
```

```
End Sub
```

' Comando do Botão de Cálculo *****

```
Private Sub cmdIVoltar_Click()
```

```
If IsNumeric(txtIVolTab) = False Or IsNumeric(txtIHe) = False Or IsNumeric(txtIDens) = False Or IsNumeric(txtIHi) = False Then
Aviso.Show
```

```
Else
```

```
If ti < 0 Then
renov = txtITisub0
Else: renov = txtITisup0
End If
```

```
roae = txtIDens
hi = txtIHi
he = txtIHe
V = comprimento * largura * alt
```

```
Qinf = (roae * V * (he - hi) * renov) / 8640000
```

```
Unload Me
Principal.cmdDiv.Enabled = True
Principal.Show
```

```
End If
```

```
End Sub
```

6 Tela de Carga de Dissipação Interna

'Rotina do Cálculo de Carga Total de Dissipação Interna *****

```
Private Sub cmdCargaIntVoltar_Click()
```

```
Qdiv = (Pessoas + Lampadas) / 1000
```

```
Unload Me
```

```
Principal.Show
```

```
Principal.cmdCTTotal.Enabled = True
```

```
End Sub
```

' Rotina de Carga devido às Pessoas *****

```
Private Sub cmdDivPessoas_Click()
```

```
Dim n As Single
```

```
If IsNumeric(txtDivPessoas) = False Then
```

```
Aviso.Show
```

```
Else
```

```
n = txtDivPessoas
```

```
Pessoas = n * (272 - (6 * ti))
```

```
End If
```

```
cmdLampadas.Enabled = True
```

```
End Sub
```

' Rotina do Cálculo de Carga devido às Lâmpadas *****

```
Private Sub cmdLampadas_Click()
```

```
If IsNumeric(txtDivLamp) = False Then
```

```
Aviso.Show
```

```
Else
```

```
Lampadas = comprimento * altura * 11
```

```
End If
```

```
cmdCargaIntVoltar.Enabled = True
```

```
End Sub
```

7 Tela de Aviso

```
    'Módulo Aviso de Erro ****
Private Sub Command1_Click()
    Unload Me
End Sub
'Fim do módulo ****
```

8 Módulo de Variáveis

'Módulo Variáveis Globais *****

Public LM As Double
 Public ti As Double
 Public te As Double
 Public alt As Double
 Public comprimento As Double
 Public largura As Double
 Public CTTotal As Double

'Variáveis de Transmissão *****

Public ho1 As Double
 Public ho2 As Double
 Public ho3 As Double
 Public QtransmN As Double
 Public QtransmL As Double
 Public QtransmS As Double
 Public QtransmO As Double
 Public QtransmT As Double
 Public QtransmP As Double
 Public Qtransm As Double

'Variáveis de Infiltração *****

Public Qinf As Double

'Variáveis Carga Produtos *****

Public Produto As Double
 Public Embalagem As Double
 Public Respiração As Double
 Public Qprod As Double
 Public tp As Double
 Public tc As Double
 Public m As Double
 Public mest As Double
 Public qresp As Double
 Public cpab As Double
 Public cpac As Double
 Public L As Double
 Public cpemb As Double

'Variáveis Carga Diversas *****

Public Pessoas As Double

Public Lampadas As Double

Public Qdiv As Double

'Fim do módulo *****

9 Tela principal do Software

' Cálculo da Carga Térmica Total ****

```
Private Sub cmdCTTotal_Click()
```

```
    CTTotal = (Qtransm + Qdiv + Qinf + Qprod) * 1.1
    txtCTTotal.Text = CTTotal
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdDadosIniciais_Click()
```

```
    Dados.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdDiv_Click()
```

```
    DissipInterna.Show
    DissipInterna.txtDivLamp.Text = comprimento * largura
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdInfilt_Click()
```

```
    Infiltração.txtIVolDesej.Text = comprimento * largura * alt
    Infiltração.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdNovo_Click()
```

```
    Principal.cmdDadosIniciais.Enabled = True
    Principal.cmdCTTotal.Enabled = True
    CTTotal = 0
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdProd_Click()
```

```
    Produtos.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdTransm_Click()
```

```
    Transm.Show
```

```
End Sub
```