

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO EM EXCEL VBA PARA CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA EM UNIDADES DE ENSINO NO BRASIL

M.E.C.A. Conceição, mauricioaconc@gmail.com¹

L.G. Alves, lgobira@gmail.com¹

¹ Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia, BA, Brasil.

Resumo: A carga térmica de climatização é um parâmetro essencial em projetos de ar condicionado. O seu correto dimensionamento assegura ao projetista que o sistema será eficiente energeticamente e que este atenderá às normas técnicas. Para auxiliar na análise dessa demanda, programas computacionais têm sido desenvolvidos. Esses softwares utilizam diferentes metodologias de cálculo e são, geralmente, pagos. O presente estudo apresenta um aplicativo desenvolvido em Excel VBA para o cálculo da carga térmica em unidades de ensino no Brasil. Essa aplicação foi denominada S-CoolingB. A metodologia de cálculo utilizada por esse programa é a Diferença da Temperatura Equivalente Total (TETD/TA). Além disso, o S-CoolingB baseia-se nas tabelas apresentadas pelo manual da Carrier (1980) e nos parâmetros definidos pela norma ABNT NBR 16401 (2008). Comparado ao software CYPECAD e à análise elaborada por Creder em sua literatura, o S-CoolingB apresenta erro relativo menor que 10% no dimensionamento da carga térmica. Entre outras características, esse aplicativo mostrou-se atrativo por ser gratuito, possuir uma interface intuitiva e por demandar pouco da memória RAM do computador em seus cálculos.

Palavras-chave: Carga térmica, MS-Excel, VBA.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com ASHRAE (2009), entende-se como carga térmica de climatização, a taxa de remoção de calor necessária para manter um ambiente em temperatura e condições de umidade desejáveis. Em projetos de refrigeração e ar condicionado, o correto dimensionamento desse parâmetro é essencial. Isso garante ao projetista que o sistema será eficiente energeticamente e que este atenderá às normas técnicas.

Visando quantificar apropriadamente a carga térmica de um ambiente, fabricantes, engenheiros e cientistas tem elaborado diversas metodologias para o seu cálculo. Em estudo, Mao *et al.* (2013), destacou-se três métodos usualmente empregados na indústria de refrigeração e ar condicionado: o método da Diferença da Temperatura Equivalente Total (TETD/TA); o método da Diferença de Temperatura (CLTD/SCL/CLF); e o método das Séries Temporais Radiantes (RTS). Essas metodologias destacaram-se por apresentarem resultados satisfatórios na análise da demanda de ar condicionado em ambientes.

Softwares voltados para projetos de ar condicionado são uma realidade no mercado. Pode-se citar, entre eles, o CYPECAD, o HAP (*Hourly Analysis Program*), o HVAC-Calc e o EnergyPlus. Esses programas auxiliam os projetistas no cálculo de parâmetros importantes em projetos de climatização – como, por exemplo, o cálculo da carga térmica do ambiente e a determinação da vazão de ar externo para ventilação do mesmo. No entanto, a maioria desses softwares são pagos. A existência de um software gratuito que efetue a análise da demanda de ar condicionado de maneira intuitiva pode ser uma ferramenta conveniente para projetistas na área de climatização.

No presente estudo, é apresentado um aplicativo desenvolvido em Excel VBA (*Visual Basic for Applications*) para o cálculo da carga térmica em unidades de ensino no Brasil. Esse programa foi denominado S-CoolingB. Além de dimensionar a demanda de refrigeração de ambientes, este aplicativo categoriza as suas fontes e determina a vazão de ventilação de ar externo no recinto. Ademais, compara-se, neste estudo, os resultados obtidos pelo S-CoolingB com análises feitas a partir de outras metodologias utilizadas por projetistas.

2. PROCEDIMENTOS

O S-CoolingB faz o dimensionamento da demanda de ar condicionado segundo a metodologia TETD/TA – descrita no Manual da Carrier (1980). Nesse método, a carga térmica é dividida em componentes externos e internos. Segundo essa metodologia, são avaliadas como fontes internas: o calor liberado pelos equipamentos eletrônicos, pelos

equipamentos de iluminação e o calor liberado pelos ocupantes. Enquanto as fontes externas de calor em um ambiente, segundo Stoecker *et al.* (1985), são divididas em:

- Calor advindo da radiação solar direta (insolação nas paredes, nos vidros e no teto);
- Transmissão de calor pelas paredes, pelos vidros e teto (devido à diferença entre as temperaturas interna e externa);
- Calor advindo da infiltração e ventilação de ar externo.

O aplicativo desenvolvido no presente estudo efetua o dimensionamento da carga térmica categorizando essas fontes. As tabelas apresentadas pela Carrier são utilizadas pelo aplicativo como base de dados para os cálculos. Além disso, o dimensionamento da demanda de refrigeração baseia-se nas definições previstas pela norma ABNT NBR 16401 (2008). As equações e tabelas utilizadas pelo S-CoolingB são apresentadas no Anexo A.

Mao *et al.* (2013) mostrou que o método TETD/TA apresenta o inconveniente de não mensurar com precisão a oscilação do pico da carga térmica ao longo do dia e de não ser a metodologia mais precisa atualmente utilizada. Por outro lado, a simplicidade dos cálculos, a boa confiabilidade dos resultados e o fato de não exigir grande expertise do operador, tornam a metodologia TETD/TA interessante para projetistas que buscam obter a carga térmica máxima em um ambiente. Essas características motivaram a escolha dessa metodologia de cálculo para o S-CoolingB.

Afim de tornar o S-CoolingB *user-friendly*, buscou-se reduzir a quantidade de dados de entradas necessários para o cálculo da carga térmica dos ambientes. Essa simplificação foi possível ao direcionar este produto a aplicações voltadas para unidades de ensino. Dados como o calor liberado por cada tipo de equipamento instalado no recinto, a densidade de ocupação de cada ambiente e a vazão mínima de ar de renovação, por exemplo, foram pré-definidos de acordo com o banco de dados do programa. A estrutura do *software* é apresentada, resumidamente, nos parágrafos a seguir.

Antes de iniciar o cálculo da carga térmica do ambiente, o usuário deve definir as condições de projeto (condições do ar externo e interno). Esses dados climáticos para projetos de refrigeração e ar condicionado são definidos pela norma NBR 16401-1 (2008) para diversas cidades do Brasil. O S-CoolingB utiliza esses dados. Complementar a isso, o aplicativo faz uso dos registros climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia para as capitais brasileiras nos seus últimos anos. Compete ao usuário do *software* definir entre utilizar o banco de dados do aplicativo – com informações climáticas das principais cidades brasileiras (Fig. 1) – ou informar as condições do ar externo que se deseja trabalhar no projeto (Fig. 2).

Dados do Projeto

Ar interno	
TBS	15 °C
Umidade absoluta	0,0095

Localização do Projeto: Salvador

☐ Selecionar localização

☐ Inserir Condições de Projeto

Figura 1. Painel para input das condições de projeto – opção “Selecionar localização”.

Dados do Projeto

Ar interno	
TBS	15 °C
Umidade absoluta	0,0095

☐ Selecionar localização

☒ Inserir Condições de Projeto

Ar externo nos dias mais quentes do Verão		
TBS	Umidade Absoluta	TPO
35 °C	0,0214	25,3 °C
TBU	Variação média da temperatura diária	
26,1 °C	9,80 °C	

Ar externo nos dias mais quentes do Inverno		
TBS	Umidade Absoluta	TPO
33 °C	0,0207	26,2 °C
TBU	Variação média da temperatura diária	
25,1 °C	9,80 °C	

Figura 2. Painel para input das condições de projeto – opção “Inserir dados de projeto”.

O S-CoolingB efetua o dimensionamento da demanda de refrigeração de um ambiente por etapas. O usuário deve selecionar o tipo de carga térmica que se deseja calcular. Cabe ao projetista avaliar quais fontes de calor internas ou externas no ambiente são relevantes. Como pode-se observar na Fig. 3, as opções com plano de fundo azul são os componentes internos da carga térmica (iluminação, ocupantes e equipamentos), enquanto as opções em verde são componentes externos.

Figura 3. Painel para cálculo dos tipos de carga térmica. Opção escolhida: Paredes Externas.

Após selecionar a categoria de carga térmica que se deseja calcular, o usuário do *software* deve preencher dados acerca do ambiente. Para a taxa de calor que atravessa as paredes externas, por exemplo, deve-se informar: nome do prédio, número da sala (ou nome da dependência), orientação e área da parede, além do material utilizado para construção da mesma. Ao pressionar o botão “Adicionar”, o S-CoolingB efetua o cálculo da carga térmica escolhida e salva os resultados em um banco de dados. Esses resultados podem ser consultados no painel denominado Relatório. A interface do painel principal do S-CoolingB é apresentada no Anexo B.

Para a validação das análises feitas pelo S-CoolingB, efetuou-se o dimensionamento da demanda de refrigeração de um estudo de caso apresentado no livro *Instalações de Ar Condicionado* (Creder, 2004 p. 124). A metodologia de cálculo utilizada por Creder, assemelha-se ao método TETD/TA – apresentando distinções nas tabelas de parâmetros utilizadas. Além disso, comparou-se os resultados obtidos pelo S-CoolingB com a análise de um *software* pago usualmente utilizado em projetos de ar condicionado, o CYPECAD. O CYPECAD efetua o dimensionamento da carga térmica pelo método RTS – metodologia que, segundo Mao *et al.* (2013), obtém os resultados mais precisos acerca da carga térmica. No entanto, essa alta confiabilidade dos cálculos tem um custo: programas que exigem bastante da memória RAM do computador. Nos parágrafos a seguir são apresentados os resultados das análises.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em estudo de caso apresentado por Creder (2004), foi feito o cálculo da demanda de refrigeração máxima de dois restaurantes situados no Rio de Janeiro. Nessa análise, a planta baixa dos ambientes (Fig. 4) e as informações acerca dos materiais das paredes, pisos, teto e janelas são informados.

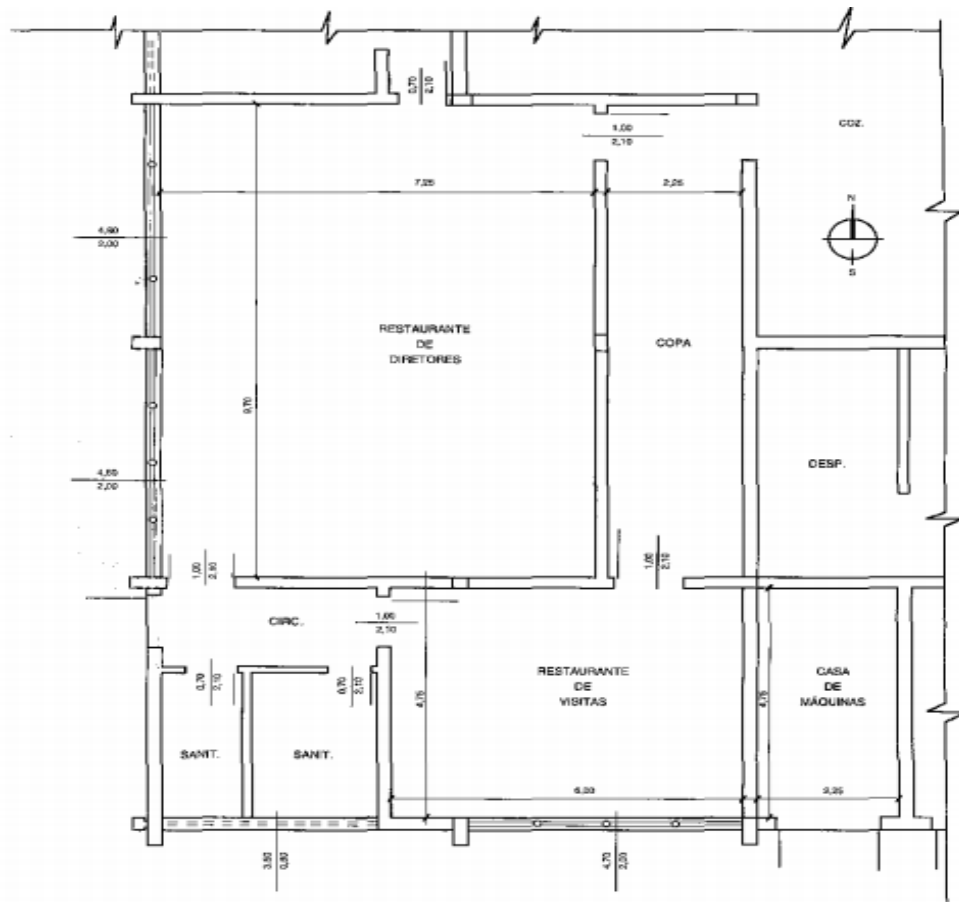


Figura 4. Planta baixa dos restaurantes avaliados em estudo de caso avaliado por Creder (2004).

Após cálculos, Creder (2004) concluiu que a carga térmica dos restaurantes era de 12,96 toneladas de refrigeração (TR). Baseando-se nos dados de projeto fornecidos, efetuou-se o cálculo da carga térmica desses restaurantes utilizando o S-CoolingB. Para isso, avaliou-se as fontes de carga térmica individualmente (Fig. 5).

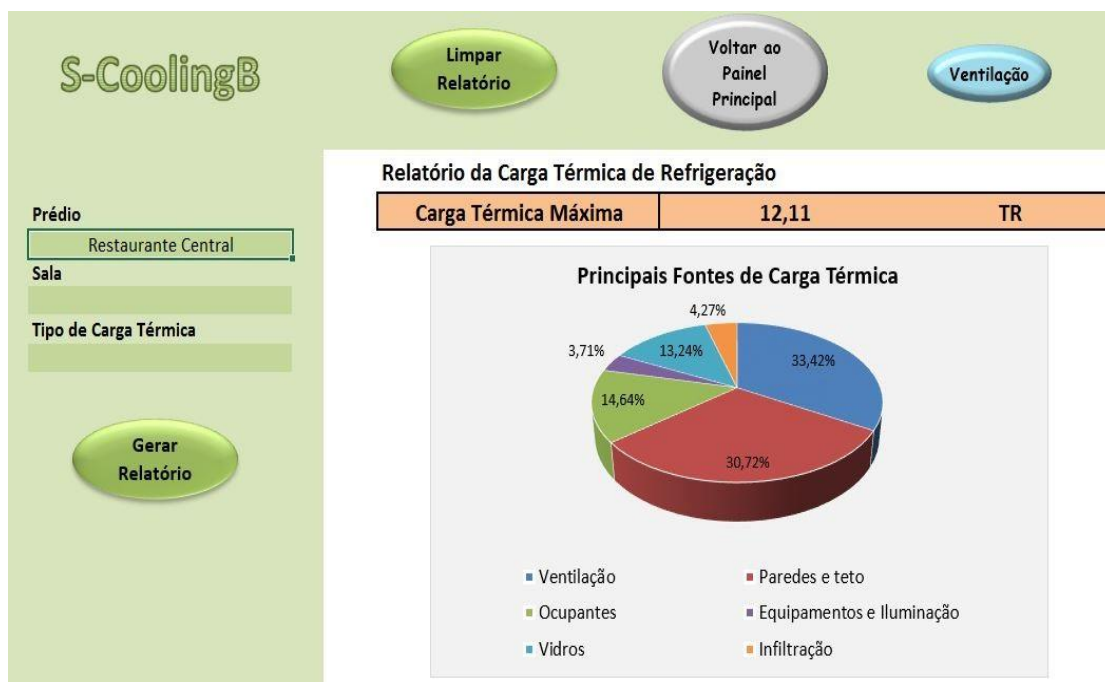


Figura 5. Resultados do cálculo da carga térmica dos restaurantes utilizando o S-CoolingB.

Utilizando o S-CoolingB, constatou-se que a máxima demanda térmica de refrigeração dos restaurantes seria de 12,11 TR. Em comparação com a análise feita por Creder, obteve-se um erro relativo de 6,56%. Apesar de ambos os cálculos tomarem a metodologia TETD/TA como referência, eles utilizam bases de dados diferentes. Enquanto o aplicativo utiliza as tabelas desenvolvidas pela Carrier (1980), Creder utiliza parâmetros tabelados apresentados em sua própria literatura. Assim, parâmetros como a taxa de insolação no vidro ou o calor latente liberado por uma pessoa apresentam valores distintos nas duas análises. Dessa forma, o erro relativo de 6,56% pode ser considerado aceitável.

Por conseguinte, analisou-se uma sala de aula do Instituto de Matemática da Universidade Federal da Bahia utilizando o CYPECAD. Esse *software* permite que se calcule a carga térmica de um ambiente através da planta baixa em CAD do recinto. Na análise, o CYPECAD apontou que a carga térmica máxima da sala é de 25.339,47 kcal/h (ou 8,38 TR) – Fig. 6. Em comparação com esse resultado, o S-CoolingB obteve que a maior demanda de refrigeração da sala seria de 8,78 TR (Fig. 7). Logo, o erro relativo obtido no segundo estudo de caso foi de 4,77%.

Em comparação com o S-CoolingB, os *softwares* pagos que são utilizados no mercado têm aplicações mais amplas. Pode-se com o CYPECAD, por exemplo, avaliar o pico da demanda de refrigeração em função do horário, fazer o desenho em CAD do sistema de refrigeração, importar plantas baixas em CAD etc. No entanto, o S-CoolingB apresenta alguns atraentes:

- O aplicativo é gratuito;
- O dimensionamento da demanda de climatização dos ambientes tornou-se acessível a pessoas sem vastos conhecimentos em projetos de ar condicionado;
- O aplicativo calcula a carga térmica máxima do ambiente em cada mês;
- Obtém-se a vazão de ar externo de renovação no ambiente;
- O tempo para o cálculo da carga térmica foi reduzido em comparação com o método manual ou com o uso de *software* mais robustos;
- São requisitados poucos dados acerca do ambiente;
- Pode-se avaliar a contribuição de cada fonte de carga térmica no recinto;
- E obtém-se resultados satisfatórios para as análises a que o aplicativo se propõe.

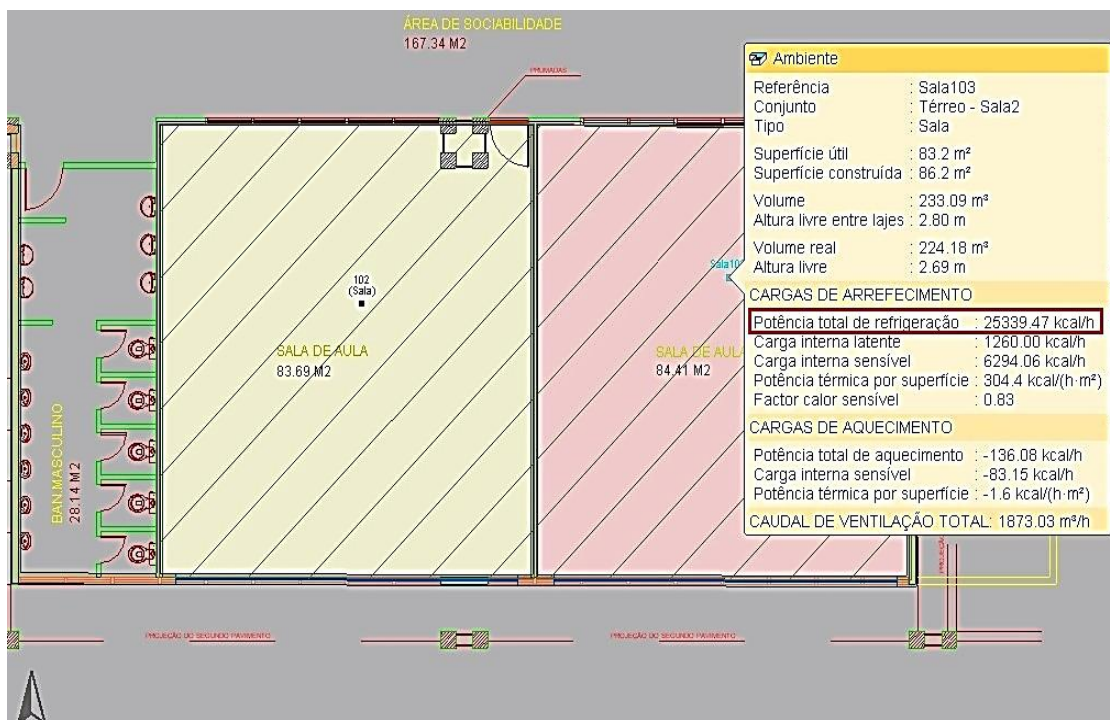


Figura 6. Análise da carga térmica de sala da Universidade Federal da Bahia através do CYPECAD.

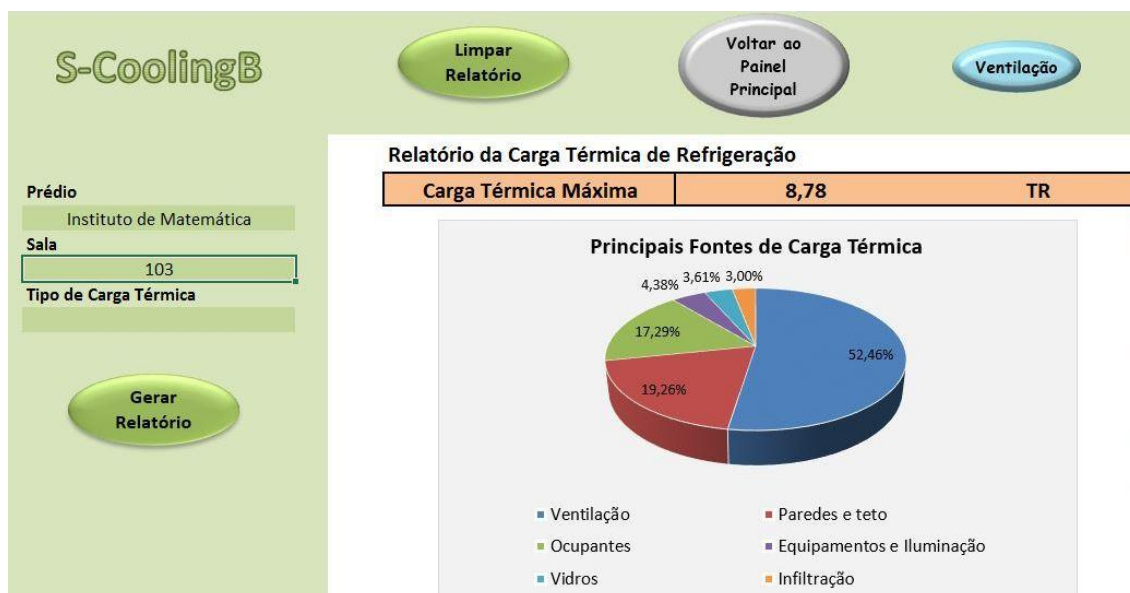


Figura 7. Demanda de climatização de sala da Universidade Federal da Bahia segundo o aplicativo.

Como pode-se observar na Fig. 7, a principal fonte de calor na sala de aula da Universidade Federal da Bahia advém da ventilação de ar externo de renovação (correspondendo a 52,46% da carga térmica). Através dessa categorização, o projetista pode avaliar meios para reduzir a taxa de calor advinda de uma das fontes de carga térmica no ambiente. Com isso, tem-se uma ferramenta adicional para a análise de projetos de climatização de salas de aulas, laboratórios, bibliotecas, praças de alimentação e ambientes de ensino em geral.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo apresentou um aplicativo desenvolvido em Excel VBA para o cálculo da demanda de climatização de unidades de ensino no Brasil. Essa aplicação foi denominada S-CoolingB. Dentre as metodologias utilizadas para obter a carga térmica máxima em um ambiente, o método TETD/TA é o utilizado pelo *software* por apresentar resultados satisfatórios e pela simplicidade em comparação com outros métodos. Além disso, o S-CoolingB utiliza como banco de dados para os cálculos as tabelas apresentadas no manual da Carrier (1980) e parâmetros de projeto definidos pela norma ABNT NBR 16401 (2008).

A estrutura do aplicativo foi desenvolvida visando tornar o seu uso intuitivo. O S-CoolingB efetua os cálculos da carga térmica por etapas e salva os resultados em um banco de dados. Ademais, esse programa categoriza as principais fontes de carga térmica no ambiente, apresenta a demanda térmica relativa de cada uma dessas fontes, calcula a carga térmica máxima em cada mês e determina a vazão de ar externo de renovação no recinto.

Para que a confiabilidade dos resultados apresentados pelo S-CoolingB fosse avaliada, estudos comparativos foram feitos. Os estudos de caso demonstraram que, comparados aos resultados de análises feitas por outras metodologias (Creder e CYPECAD), o dimensionamento efetuado pelo S-CoolingB obteve erro relativo menor que 10% (dez por cento). Isso foi avaliado como um resultado satisfatório.

Por fim, o S-CoolingB mostrou-se como uma ferramenta conveniente para os projetistas, e seus clientes, que buscam avaliar projetos de climatização em unidades de ensino no Brasil. Além de ser um aplicativo gratuito, o S-CoolingB é um *software user-friendly*, leve (que exige pouco da memória RAM do computador) e que apresenta boa confiabilidade nos cálculos. Em trabalhos futuros, propõe-se expandir a aplicação do programa a outros tipos de ambientes.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Bahia.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT, Norma NBR 16401 (2008), Instalações de ar Condicionado. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Handbook of Fundamentals. ASHRAE Standard, 2009.
- Carrier Air Conditioning Company. Manual de Aire Acondicionado. 8a.ed. Marcombo Boixareu Editores, 1983.
- Creder, H. Instalações de Ar Condicionado. 6a.ed. Rio de Janeiro: LCT, 2004 p. 124.

ELETROBRAS. Sistemas de Ar Condicionado: Módulo 1. PROCEL EPP, 2011.

Mao, C., Haberl, J. S., & Baltazar, J. C. Peak heating/cooling load design methods: how we got to where we are today in the U.S. Proceedings of 13th International Conference of the IBPSA, France, 2013.

Stoecker, W. F., & Jones, J. W. Refrigeração e Ar Condicionado 1a. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

O autor é o único responsável pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF APPLICATION IN EXCEL VBA FOR CALCULATING THE COOLING LOAD OF BRAZILIAN SCHOOL FACILITIES

M.E.C.A. Conceição, mauricioaconc@gmail.com¹

L.G. Alves, lgobira@gmail.com¹

¹ Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia, BA, Brasil.

Abstract. *The cooling load is an essential parameter in air conditioning projects. Its correct dimensioning assures the designer that the system will have a satisfactory energy efficiency and that it will meet the regulatory standards. To assist in the analysis of air conditioning loads, computer programs have been developed. These software use different calculation methodologies and they are, generally, paid. The current study presents an application developed in Excel VBA for calculating the cooling load of Brazilian school facilities. This application was named S-CoolingB. The calculation methodology used by this program is the Total Equivalent Temperature Difference (TETD / TA). In addition, S-CoolingB database uses tables presented in the Carrier manual (1980) and in parameters defined by ABNT (Brazilian Technical Standards Association) NBR 16401 (2008). Compared to CYPECAD and some analysis developed by Creder in its literature, S-CoolingB presents a relative error of less than 10% in the dimensioning of the cooling load. Among other features, this application is attractive because it is free, it has an intuitive interface and it does not require much of the computer's RAM in its calculations.*

Keywords: *Cooling load, MS-Excel, VBA.*

ANEXO A – EQUAÇÕES E TABELAS UTILIZADAS PELO S-COOLINGB

Tabelas e Equações	Fonte
Iluminação	
$\dot{Q}_{lamp} = A \times Pot_{lamp}$ Tabela C2 (Pot. dissipada pela lâmpada).	NBR 16401-1, 2008 p. 53.
Equipamentos	
$\dot{Q}_{eqp} = \sum n_{eqp} \times Pot_{eqp}$ Tabela C3-4 (Pot. dissipada pelos equipamentos).	NBR 16401-1, 2008 p. 55.
Ocupantes	
$n_{ocup} = d_{ocup} \times A$ $\dot{Q}_{S,ocup} = n_{ocup} \times q_{S,ocup}$ $\dot{Q}_{L,ocup} = n_{ocup} \times q_{L,ocup}$ Tabela 1 (Densidade de ocupação do local); Tabela C1 (Calor liberado por pessoas).	NBR 16401-3, 2008 p. 6. NBR 16401-1, 2008 p. 53.
Insolação nos Vidros	
$Q_{insolação,vidros} = I_t \times A \times \varphi \times a$ Tabela 6 (Intensidade de radiação); Tabela 11 (Fator de armazenamento); Tabela 16 (Fator de redução).	CARRIER, 1983 p. 23. CARRIER, 1983 p. 28. CARRIER, 1983 p. 46.
Transmissão através dos Vidros	
$Q_{transm,vidros} = U \times A \times (T'_{ext} - T_{int})$ Tabela 3A (Coef. Global de Transmissão de Calor); Tabela A2-A7.	ELETROBRAS, 2011 p. 105. [6] NBR 16401-1, 2008 p. 31.
Paredes Externas e Tetos Expostos à Insolação	
$Q_{parede/teto,ext} = U \times A \times \Delta T_e$ $\Delta T_e = \Delta T_{e_s} + b \times \frac{R_{hs}}{R_{hN}} \times (\Delta T_{e_m} - \Delta T_{e_s})$ Tabela 3A (Coef. Global de Transmissão de Calor); Tabela 6 (Intensidade de radiação); Tabela 19 (Diferença de Temperatura Equivalente p/ Paredes); Tabela 20 (Diferença de Temperatura Equivalente p/ Tetos); Tabela 20A (Fator de correção).	ELETROBRAS, 2011 p. 105. CARRIER, 1983 p. 23. CARRIER, 1983 p. 56. CARRIER, 1983 p. 57.
Paredes Externas e Tetos Sombreados	
$Q_{par./teto,int} = U \times A \times (T'_{ext} - T_{int} - 3)$ Tabela 3A (Coef. Global de Transmissão de Calor); Tabela A2-A7.	ELETROBRAS, 2011 p. 105. NBR 16401-1, 2008 p. 31.
Ventilação e Infiltração	
$Q_{S,inf} = \dot{m}_{ar,inf} \times c_{p,ar} \times (T_{ext} - T_{int})$ $Q_{L,inf} = \dot{m}_{ar,inf} \times h_{lv} \times (w_{ext} - w_{int})$ Tabela 1; Tabela 44; Tabela A2-A7.	NBR 16401-3, 2008 p. 5. CARRIER, 1983 p. 90. NBR 16401-1, 2008 p. 31

ANEXO B – INTERFACE DO PAINEL PRINCIPAL DO S-COOLINGB

S-CoolingB

Relatório

Configurações

Banco de Dados

Tipo de carga térmica

☒ Iluminação e Ocupantes

☐ Equipamentos

☐ Insolação nos vidros

☐ Transmissão nos vidros

☐ Paredes Externas

☐ Paredes Internas

☐ Ventilação e Infiltração

☐ Teto / Cobertura

Prédio

Restaurante Central

Sala

Área (m²)

Adicionar

Dados do Projeto

Ar interno

TBS

22 °C

Umidade absoluta

0,0095

Localização do Projeto

Salvador

Selecionar localização

Inserir Condições de Projeto

ANEXO C – INTERFACE DO PAINEL DE VENTILAÇÃO DO S-COOLINGB

Relatório de
Carga Térmica

Voltar ao
Painel
Principal

Limpar
Relatório

S-CoolingB

Prédio

Faculdade de Farmácia

Sala

Gerar
Relatório

Ventilação de Ar Externo de Renovação (segundo norma NBR 16401)

Prédio	Sala	Vazão de Ar Externo [m ³ /s]
--------	------	---