

## **Concepção de um programa para análise do desempenho térmico aplicando o método C.S.T.B e sua vinculação a um estudo de caso**

### ***Design of a program for analysis of thermal performance using the C.S.T.B method and its link to a case study***

**Iara Ferreira de Rezende Costa, Mestre em Engenharia Civil , UFVJM**

iara.ferreira@ufvjm.edu.br

**Djalma Theodoro da Silva, Graduado em Engenharia Civil, UFVJM**

djolmes@hotmail.com

**Alcino de Oliveira Costa Neto, Mestre em Engenharia Civil , UFVJM**

alcino.neto@ufvjm.edu.br

#### **Resumo**

Diante das transformações ligadas à globalização e as mudanças climáticas, questões ambientais e energéticas tem se tornado cada vez mais presente nas decisões do cenário mundial. Considerando que grande parte da demanda energética das edificações está relacionada à necessidade de adequação do ambiente interno, medidas capazes de reduzir tal situação podem minimizar os impactos das mudanças climáticas. Assim, foi proposto o desenvolvimento de uma aplicação Java para avaliação do desempenho térmico de uma edificação de forma a obter resultados capazes de auxiliar os engenheiros civis quanto ao conforto térmico. O programa foi construído em linguagem de programação Java utilizando o método *Centre Scientifique et Technique du Batiment* (CSTB). Para análise da viabilidade e performance do programa foi proposto um estudo de caso, considerando o ginásio poliesportivo da UFVJM. Assim, obteve-se o resultado favorável para a viabilidade da utilização do mesmo alcançado os objetivos propostos.

**Palavras-chave:** Conforto térmico; Desempenho térmico; Método CSTB; Java

#### ***Abstract***

*In view of the transformations linked to globalization and climate change, environmental and energy issues have become increasingly present in decisions on the world stage. Considering that a large part of the energy demand of buildings is related to the need to adapt the internal environment, measures capable of reducing this situation can minimize the impacts of climate change. Thus, it was proposed to develop a Java application to evaluate the thermal performance of a building in order to obtain results capable of assisting civil engineers in terms of thermal comfort. The program was built in Java programming language using the *Center Scientifique et Technique du Batiment* (CSTB) method. To analyze the program's feasibility and performance, a case study was proposed, considering the UFVJM multisport gym. Thus, a favorable result was obtained for the feasibility of using the program achieved the proposed objectives.*

**Keywords:** Thermal comfort; Thermal performance; CSTB method; Java

## 1. Introdução

A globalização e os avanços científicos e tecnológicos fazem parte do mundo contemporâneo. Porém esta evolução também carrega consigo consequências e impactos, principalmente os de longo prazo. Dentre os impactos causados, os ambientais estão entre os mais preocupantes do ponto de vista global.

As questões energéticas e ambientais atualmente são pautas de diversas discussões nos encontros entre países por todo o mundo. Assim, foi observada a possibilidade dos serviços de energia serem utilizados gastando menos energia, fato que acarreta em benefícios econômicos, socioculturais e ambientais. Tal observação foi realizada por meio da análise dos equipamentos e hábitos de consumo.

As medidas de eficiência energética são extensíveis à engenharia civil, sendo as residências familiares correspondentes a maior parte das obras deste ramo. Segundo Sorgato (2009) o surgimento das normas de eficiência energética para edificações se deu pós-crise do petróleo (na década de 70) e atualmente no Brasil, já existem duas normas de desempenho térmico de edificações: NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (2005) e NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (2013).

O mesmo autor afirma que o consumo de energia elétrica por edificações está diretamente ligado à demanda dos ambientes internos, devido à necessidade de proporcionar condições adequadas quanto ao conforto e produtividade dos usuários. Segundo Lamberts *et al.* (2005) uma construção pode ser considerada mais eficiente energeticamente que outra quando se necessita menor consumo de energia para proporcionar a mesma condição ambiental de conforto ao habitante. Olesen (2007) acrescenta que o conforto e saúde das pessoas não devem ser sacrificados pelo intuito de economizar energia.

Segundo Gonçalves (2004), a envoltória do edifício, que separa o ambiente interior do exterior, é determinante no desempenho térmico da edificação. Frota e Schiffer (2001)

acrescentam que a sensação de conforto se dá quando as trocas de calor entre o indivíduo e o ambiente ocorrem sem grande esforço, tornando a sua capacidade de trabalho máxima. A sensação de calor ou frio é então causada pelos esforços do organismo para manter a temperatura interna ideal para o bom funcionamento do corpo (próximo aos 37°C), fato que caracteriza o homem como homeoterma.

O principal objetivo do presente trabalho é apresentar a proposta de um programa a fim de analisar o desempenho térmico de edificações através do método CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Batiment*) utilizando a linguagem Java. Porém, é necessário desenvolver algumas etapas mais específicas, como a criação de uma interface dinâmica ao programa e a aplicação de um estudo de caso. Para este último foi considerado o ginásio poliesportivo da UFVJM (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri) campus Mucuri, no município de Teófilo Otoni, com intuito de ponderar a viabilidade do programa e sua performance a partir dos resultados encontrados.

A ideia do programa foi motivada pela intenção de transformá-lo em uma ferramenta útil aos engenheiros para auxiliar nas medidas de adequação das edificações ao clima em que estão inseridas, reduzindo assim os efeitos negativos do mesmo aos usuários.

## 2. Revisão teórica

### 2.1 Conforto térmico

Segundo Lamberts *et al.* (2005) é possível definir o conforto térmico como o estado mental relacionado a satisfação do ser humano no ambiente térmico em que está inserido. Quando não alcançada esta satisfação, o homem apresenta a sensação de frio ou calor.

Apesar de ser um tema largamente pesquisado por todo o mundo, há grande ocorrência de ambientes inadequados, gerando custos sociais e gastos com usos de equipamentos condicionadores térmicos.

De acordo Frota e Schiffer (2001), as condições de conforto térmico são funções de uma gama de variáveis. Lamberts *et al.* (2005) ressalta que estas variáveis podem ser classificadas como variáveis ambientais e variáveis humanas. Sendo as variáveis humanas constituídas por: metabolismo e resistência térmica da vestimenta; e as variáveis ambientais constituídas por: temperatura do ar, velocidade do ar e umidade relativa do ar.

## 2.2 O método CSTB

Conforme Francisco (2009), o método francês *Centre Scientifique et Technique du Batiment* (CSTB) foi apresentado por Borel em 1967 e por Croiset em 1972. O método CSTB pode ser considerado o mais aplicável dentre os métodos para determinação do desempenho térmico, isto devido ao fato de possuir uma abordagem mais acessível quanto aos materiais utilizados e quanto à disponibilidade dos dados climáticos nos quais o método é baseado.

Segundo as autoras Frota e Schiffer (2001) e Francisco (2009) a avaliação do conforto térmico pode ser realizada para situação de verão e para o inverno. No verão são considerados hipóteses dos ganhos e perdas de calor a fim de realizar um balanço térmico considerando as trocas térmicas no ambiente, pois a temperatura interna desejada é inferior à externa. Já na situação de inverno somente as perdas térmicas são consideradas, devido ao fato da temperatura desejada no ambiente interno ser superior à externa.

Francisco (2009) afirma ainda que o método CSTB considera os subsistemas construtivos em sua avaliação, sofrendo influência de variáveis climáticas e das características da construção. O autor Moraes (1999) acrescenta que o método faz uso de aproximações para o regime permanente.

## 3. Procedimentos metodológicos

### 3.1 Metodologia de cálculo do método CSTB

A metodologia do presente artigo segue o roteiro adaptado por Francisco (2009) com base na descrição inicialmente feita pelas autoras Frota e Schiffer (2001), conforme representado na Tabela 1, o qual compreende dezessete passos ou etapas.

---

1	Obtenção dos dados climáticos, localização (cidade, longitude, latitude, altitude) e edificações do entorno;
2	Análise do edifício de forma qualitativa com intuito de averiguar as informações ligadas à insolação na edificação, sendo necessário considerar possíveis sombreamentos de edifícios vizinhos e/ou brises que possam amenizar ou obstruir a insolação direta à partes da edificação.

---

3	A partir da análise qualitativa da edificação, escolher um ou mais ambientes considerados críticos para a aplicação do método de avaliação do desempenho térmico.
4	Estudo da insolação no ambiente crítico escolhido. Neste passo são utilizadas a máscara de insolação e a carta solar.
5	Obtenção dos dados de radiação solar incidente global (I <sub>g</sub> ). O valor é caracterizado pelo somatório da radiação direta e a difusa.
6	Determinação das áreas dos elementos que compõem a envoltória do ambiente crítico, informações dos materiais de construção utilizados com suas respectivas dimensões, incluindo a cor da parede externa.
7	Caracterização térmica dos materiais utilizados que compõe a envoltória.
8	Determinação da transmitância térmica global, representado como K, para vedações separando-as em opacas e translúcidas. Cálculo do fator solar, representado por S <sub>tr</sub> , para transparentes ou translúcidas.
9	Determinação dos ganhos de calor da envoltória.
10	Obtenção dos dados sobre radiação solar incidente sobre os planos verticais e horizontais.
11	Ganhos de calor gerado no interior do ambiente: número de pessoas e atividade desenvolvida (metabolismo), iluminação artificial (lâmpadas incandescentes, fluorescentes e reatores) e equipamentos (eletrodomésticos e máquinas) contidos no ambiente.
12	Perdas de calor através da envoltória e a partir da ventilação (determinar a taxa de renovação horária do ar no ambiente) em função da variação da temperatura ( $\Delta T$ );
13	Balanco térmico do ambiente, igualando o total de ganhos ao total de perdas. Nesta etapa obtém-se o $\Delta T$ .
14	Avaliação da inércia térmica da edificação a partir do conceito de superfície equivalente pesada.
15	Determinação da temperatura interna máxima (T <sub>i,max</sub> ), a qual corresponde à temperatura de bulbo seco (TBS), calculada a partir dos dados de temperatura da cidade em estudo e da temperatura externa máxima obtida.
16	Avaliação das condições ambientais a partir da carta psicrométrica utilizando a TBS para determinação da temperatura do bulbo úmido (TBU) e o nomograma de temperatura efetiva.
17	Proposição de adequações à edificação a fim de obter o desempenho térmico esperado caso as condições não alcancem o conforto térmico desejado.

**Tabela 1: Etapas do método CSTB. Fonte: Francisco, 2009 (adptado).**

### 3.2 Implementação do método ao programa

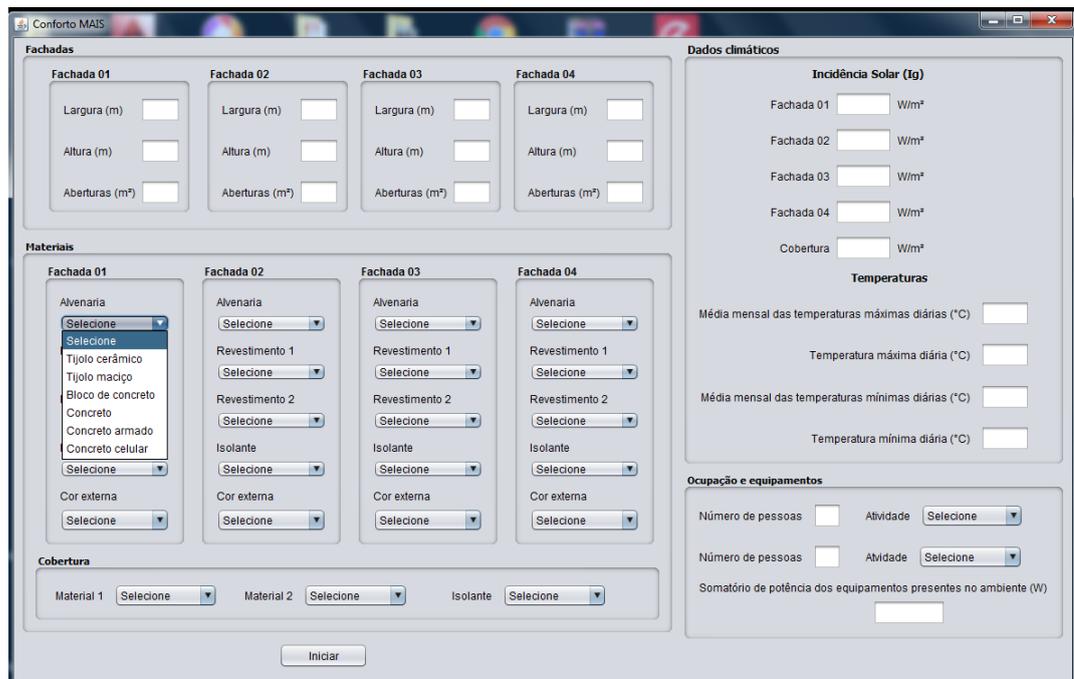
Nesta fase do trabalho foi desenvolvida de forma paralela ao procedimento mostrado no tópico anterior, contudo, para melhor compreensão adotou-se apresentar esta etapa separadamente e após a abordagem do procedimento utilizado. Assim, este item compreende o desenvolvimento da aplicação, obedecendo aos passos necessários para avaliação do desempenho térmico das edificações.

Todo o código foi desenvolvido em linguagem Java, tal linguagem foi escolhida observando alguns fatores considerados interessantes para o programa. O primeiro está relacionado à linguagem possibilitar um ambiente mais atrativo e interativo entre o programa e o usuário, este fator foi considerado pois desta forma propicia uma maior e melhor aceitação da aplicação por parte dos usuários, visto que o programa visa ser funcional e de simples utilização.

Outro fator relacionado à escolha da linguagem Java foi a sua programação orientada a objetos, principal característica desta linguagem de programação. Assim, possibilita que todo o código seja subdividido em classes e métodos, resultando em uma analogia aos passos do método CSTB já explanados anteriormente. Assim, o programa possui uma estrutura semelhante aos passos para o desenvolvimento do método.

O último fator considerado na escolha da presente linguagem consiste na possibilidade de futuramente estender esta aplicação para celulares, smartphones, etc. Tal característica existe devido o Java estar presente em diversos tipos de aparelhos eletrônicos capazes de executar o programa desenvolvido.

Assim, o programa em questão foi nomeado como “Conforto MAIS”, sendo este nome diretamente relacionado aos objetivos do mesmo, que consiste na avaliação do desempenho térmico buscando a adequação de projetos e/ou edifícios quanto ao conforto térmico. A interface do programa desenvolvido é apresentada na Figura 1.



**Figura 1: Interface do Conforto MAIS. Fonte: elaborado pelos autores.**

Conforme mostrado na figura anterior o programa necessita da informação acerca de quais materiais de construção foram/serão utilizados (ao que concerne para os sistemas construtivos de alvenaria e cobertura) para avaliação do método, para isso todos os materiais disponíveis para escolha possuem variáveis nas quais constam os dados recorrentes para aplicação do método (como a condutividade térmica e a massa específica). No momento da escolha, o programa solicita que seja informada a espessura do material escolhido, informação necessária para o desenvolvimento do método, assim como a cor das alvenarias. Além dos itens já mencionados, são fundamentais os dados climáticos da localidade (temperaturas e incidência solar) e também a definição do tipo de ocupação e equipamentos presentes no recinto.

Quanto às informações sobre as fachadas é importante ressaltar que este programa foi desenvolvido considerando a forma de edificação mais corrente, ou seja, edificações cuja forma arquitetônica seja basicamente retangular. Assim, para outras formas arquitetônicas como exemplo circulares o programa possui esta limitação, sendo necessário por parte do usuário realizar alguma aproximação ou consideração para utilização desta ferramenta.

Após a escolha dos materiais (assim como as devidas espessuras) e demais informações, o programa inicia o procedimento de cálculo do método CSTB. O desenvolvimento dos passos, apresentados no tópico anterior, formam divididos no programa em métodos, utilizando uma classe nomeada como “Cálculo”. Todas as equações pertinentes ao CSTB foram

implementadas ao programa.

A Figura 2 apresenta o fluxograma do funcionamento (algoritmo) do programa Conforto MAIS. Assim, todos os passos (exceto análises) são desenvolvidas no mesmo.

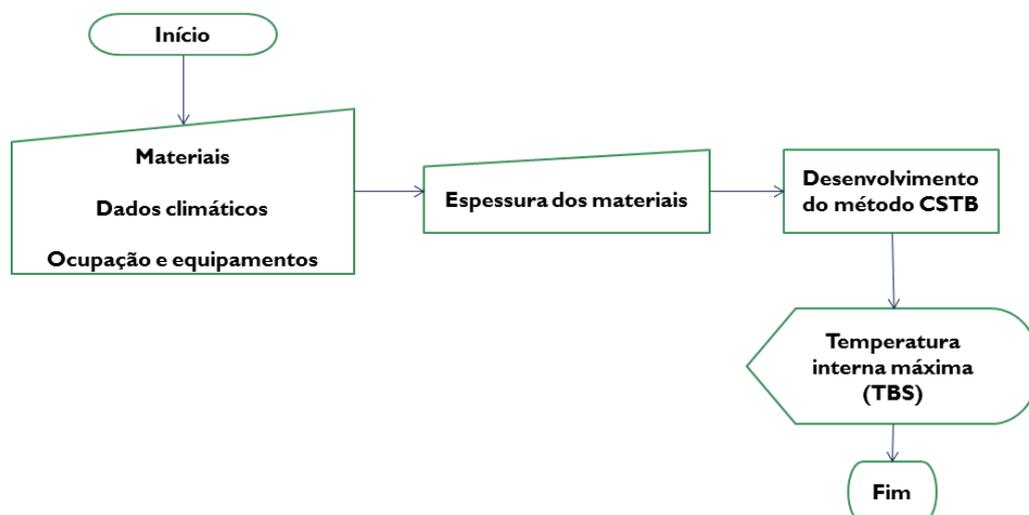


Figura 2: Algoritmo do Conforto MAIS. Fonte: elaborado pelos autores.

Vale resaltar que as etapas definidas em 8, 9, 12, 13, 14 e 15 (conforme a Tabela 1) são resolvidas por equações contidas na literatura da área (Frota e Schiffer, 2001 e Francisco, 2009) e implementadas diretamente no programa.

### 3.3 Estudo de caso

Após a estruturação do programa, a fim de validar o mesmo, foi efetuado a aplicação de um estudo de caso, que conseqüentemente se tornou o objetivo secundário do presente artigo. O ginásio poliesportivo da UFVJM (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri) foi o edifício escolhido para avaliação do desempenho térmico, por ser uma edificação com dados acessíveis referentes aos seus sistemas construtivos. O local onde está inserido o ginásio, o município de Teófilo Otoni, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018) possui clima caracterizado como tropical quente semiúmido ou tropical com estação seca. Considerando apenas o verão, foi selecionado o mês de dezembro para análise dos dados climáticos. O mês foi escolhido a fim de se obter a situação mais desfavorável para a avaliação do desempenho térmico. A Tabela 2 apresenta alguns parâmetros importantes para o referido mês.

Média mensal da temperatura	22,40 °C
Média mensal das temperaturas máximas diárias	30,60 °C
Média mensal das temperaturas mínimas diárias	19,20 °C
Temperatura máxima observada	37,20 °C
Temperatura mínima observada	10,50 °C
Média mensal da umidade relativa	80%

Tabela 2: Valores de temperatura e umidade relativa referente ao mês de dezembro para o município de Teófilo Otoni (MG). Fonte: IBGE, 2018.

Para o estudo de insolação no ambiente foram utilizadas a planta de situação do ginásio e a carta solar do município. A Figura 3 apresenta a planta de situação juntamente às orientações de suas fachadas, na qual a fachada Noroeste é apresentada na Figura 4, e a Figura 5 demonstra a análise referente à carta solar para cada fachada do edifício.

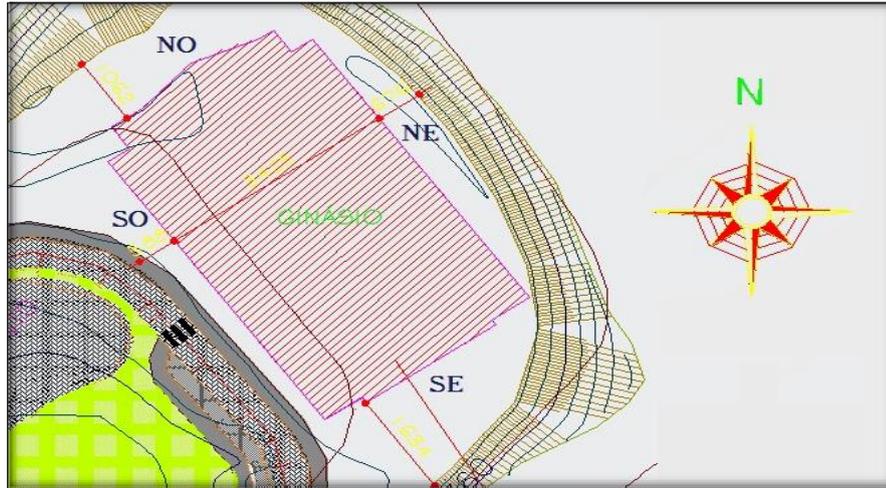


Figura 3: Planta de situação do Ginásio Poliesportivo. Fonte: elaborado pelos autores.



Figura 4: Fachada Noroeste do ginásio poliesportivo. Fonte: elaborado pelos autores.

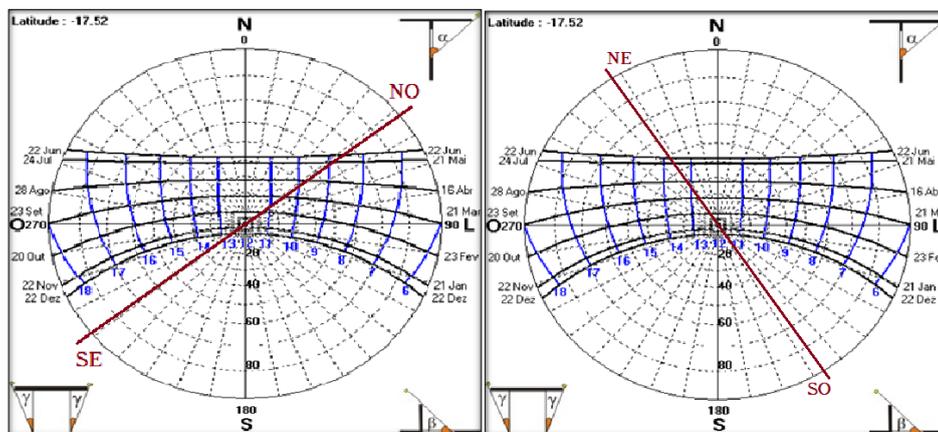


Figura 5: Estudo da insolação nas fachadas. Fonte: Analysis SOL-AR (2018) adaptado.

Para a determinação da radiação solar incidente global ( $I_g$ ) foi necessária utilização dos dados obtidos por Oliveira *et al.* (2016), trabalho também desenvolvido na UFVJM. Sendo escolhido o horário de 11h00min com  $I_g$  igual a 1300 W/m<sup>2</sup>.

No Conforto MAIS as fachadas são divididas em 01, 02, 03 e 04 para serem adaptadas a qualquer situação, sendo necessário escolher qual fachada real corresponde à fachada na simulação. Nesta situação a Fachada 01 corresponde à fachada SO, a Fachada 02 corresponde à NO, Fachada 03 corresponde à fachada NE e Fachada 04 corresponde à SE.

A lista dos materiais selecionados, com base no memorial descritivo do ginásio e utilizado para as simulações no programa foi organizada na Tabela 3.

Material	Fachada	Escolha	Espessura (cm)
Alvenaria	Fachadas 01, 02, 03 e 04	Tijolo cerâmico	15,0
Revestimento 1	Fachadas 01, 02, 03 e 04	Argamassa de cimento	1,0
Revestimento 2	Fachadas 01, 02, 03 e 04	Argamassa (cal e cimento)	4,0
Isolante térmico	Fachadas 01, 02, 03 e 04	Poliestireno expandido	0,0
Material de cobertura 1	Cobertura	Cobertura metálica	0,5
Material de cobertura 2	Cobertura	Cobertura metálica	2,0
Isolante térmico	Cobertura	Poliestireno expandido	0,0

**Tabela 3: Lista de escolhas dos materiais utilizados na simulação. Fonte: elaborado pelos autores.**

É importante destacar que conforme o memorial da edificação, não houve utilização de isolante térmico na mesma, portanto foi selecionado um tipo de isolante com espessura igual a zero.

#### 4. Resultados

Para a avaliação do Conforto MAIS, com base no estudo de caso apresentado, foi realizado duas análises de desempenho térmico para o ginásio poliesportivo.

A primeira levou em consideração uma atividade física ocorrendo na quadra e um número de pessoas acomodadas na arquibancada, situação esta simulando uma partida de futsal (cinco jogadores em cada time e dois juízes) com plateia ( mais 100 pessoas).

Para o segundo cenário, não foi considerado a atividade física no interior da edificação, porém o número de pessoas dentro do ginásio foi elevado, a fim de simular algum evento de característica não esportiva ocorrendo no recinto (total de 200 pessoas). Ambas as análises foram realizadas com os mesmos valores de entrada (como descrito nas tabelas anteriores), exceto as entradas referentes as atividades desenvolvidas na edificação, conforme pode ser observado nas Figuras 6 e 7, as quais apresentam a interface do programa completamente preenchida com as informações para a primeira e segunda análise, respectivamente.

**Fachadas**

Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03	Fachada 04
Largura (m): 51.15	Largura (m): 34.00	Largura (m): 51.15	Largura (m): 34.00
Altura (m): 7.70	Altura (m): 8.44	Altura (m): 7.70	Altura (m): 8.44
Aberturas (m²): 40	Aberturas (m²): 0	Aberturas (m²): 40	Aberturas (m²): 0

**Dados climáticos**

**Incidência Solar (I<sub>g</sub>)**

Fachada 01	150 W/m²
Fachada 02	100 W/m²
Fachada 03	850 W/m²
Fachada 04	800 W/m²
Cobertura	1300 W/m²

**Temperaturas**

Média mensal das temperaturas máximas diárias (°C)	30.60
Temperatura máxima diária (°C)	37.20
Média mensal das temperaturas mínimas diárias (°C)	19.20
Temperatura mínima diária (°C)	10.50

**Ocupação e equipamentos**

Número de pessoas	12	Atividade	Atividade fisi...
Número de pessoas	100	Atividade	Sentado
Somatório de potência dos equipamentos presentes no ambiente (W)			
300			

**Materiais**

Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03	Fachada 04
Avenaria: Tijolo cerâmico	Avenaria: Tijolo cerâmico	Avenaria: Tijolo cerâmico	Avenaria: Tijolo cerâmico
Revestimento 1: Argamassa d...			
Revestimento 2: Argamassa (c...)			
Isolante: Poliestireno e...	Isolante: Poliestireno e...	Isolante: Poliestireno e...	Isolante: Poliestireno e...
Cor externa: Branco	Cor externa: Amarelo	Cor externa: Branco	Cor externa: Amarelo

**Cobertura**

Material 1	Cobertura m...	Material 2	Cobertura m...	Isolante	Poliestireno...
------------	----------------	------------	----------------	----------	-----------------

Iniciar

Figura 6: Interface preenchida para primeira simulação. Fonte: elaborado pelos autores.

**Fachadas**

Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03	Fachada 04
Largura (m): 51.15	Largura (m): 34.00	Largura (m): 51.15	Largura (m): 34.00
Altura (m): 7.70	Altura (m): 8.44	Altura (m): 7.70	Altura (m): 8.44
Aberturas (m²): 40	Aberturas (m²): 0	Aberturas (m²): 40	Aberturas (m²): 0

**Dados climáticos**

**Incidência Solar (I<sub>g</sub>)**

Fachada 01	150 W/m²
Fachada 02	100 W/m²
Fachada 03	850 W/m²
Fachada 04	800 W/m²
Cobertura	1300 W/m²

**Temperaturas**

Média mensal das temperaturas máximas diárias (°C)	30.60
Temperatura máxima diária (°C)	37.20
Média mensal das temperaturas mínimas diárias (°C)	19.20
Temperatura mínima diária (°C)	10.50

**Ocupação e equipamentos**

Número de pessoas	0	Atividade	Atividade fisi...
Número de pessoas	200	Atividade	Em pé
Somatório de potência dos equipamentos presentes no ambiente (W)			
300			

**Materiais**

Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03	Fachada 04
Avenaria: Tijolo cerâmico	Avenaria: Tijolo cerâmico	Avenaria: Tijolo cerâmico	Avenaria: Tijolo cerâmico
Revestimento 1: Argamassa d...			
Revestimento 2: Argamassa (c...)			
Isolante: Poliestireno e...	Isolante: Poliestireno e...	Isolante: Poliestireno e...	Isolante: Poliestireno e...
Cor externa: Branco	Cor externa: Amarelo	Cor externa: Branco	Cor externa: Amarelo

**Cobertura**

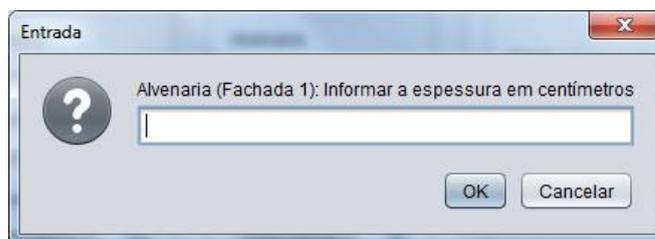
Material 1	Cobertura m...	Material 2	Cobertura m...	Isolante	Poliestireno...
------------	----------------	------------	----------------	----------	-----------------

Iniciar

Figura 7: Interface preenchida para segunda simulação. Fonte: elaborado pelos autores.

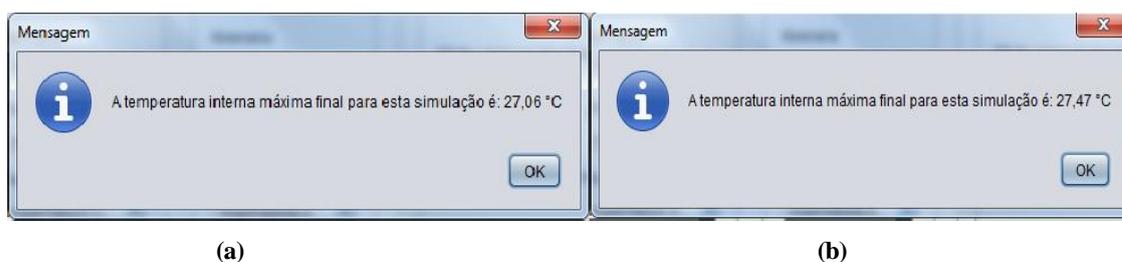
A grande diferença entre a incidência solar entre as fachadas, percebidas em ambas as figuras, ocorre pois nem todas as fachadas recebem insolação direta no horário escolhido para análise (11h00min). Por este motivo duas fachadas possuem valores consideravelmente menores (Fachadas 01 e 02), sendo estes uma aproximação somente da parcela difusa que chega a estas fachadas. Considerou-se a faixa de 10 a 20% da incidência direta como a parcela difusa.

Para demonstração, as solicitações de espessuras no programa são feitas conforme mostrado na Figura 8.



**Figura 8: Exemplo de solicitação de espessura. Fonte: elaborado pelos autores.**

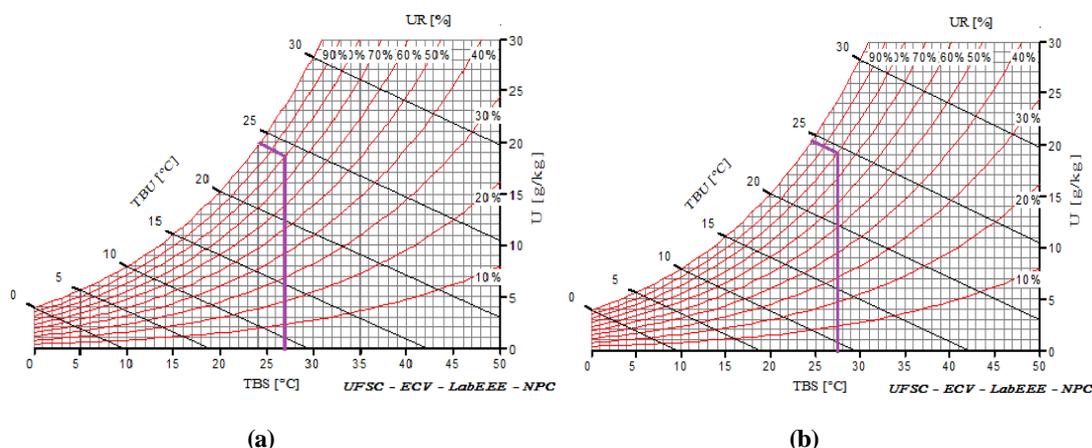
Após adicionar todos os dados solicitados pela aplicação, a mesma efetuou os cálculos presentes no algoritmo e apresentou os resultados da temperatura interna máxima conforme foi designada pelo código. Os resultados apresentados pelo programa para o primeiro e segundo cenário constam nas Figuras 9(a) e (b), respectivamente.



**Figura 9: (a) Resultado para a temperatura interna máxima considerando o primeiro cenário (b) segundo cenário. Fonte: elaborado pelos autores.**

Pode-se perceber que houve uma pequena divergência entre os resultados da primeira para a segunda análise, a existência desta diferença era esperada devido as distintas atividades e os números de ocupantes da edificação, o que acarreta em uma variação no calor metabólico acrescentado aos ganhos de calor.

Para a finalização do método, conforme Tabela 1, é necessário a determinação da temperatura efetiva (de caráter subjetivo), entretanto é indispensável encontrar a temperatura de bulbo úmido (TBU), sendo que a temperatura interna máxima (obtida anteriormente) é considerada como temperatura de bulbo seco (TBS). Para este passo foram utilizadas a carta psicrométrica e a informação sobre a umidade relativa referente ao mês de dezembro para cidade de Teófilo Otoni (Tabela 2), conforme evidenciam as Figuras 10 (a) e (b).



**Figura 10: (a) Determinação da temperatura de bulbo úmido (TBU) para a primeira análise e (b) segunda análise. Fonte: Analysis Bio, adaptado.**

Após a identificação da temperatura de bulbo úmido igual a 24 °C para a primeira situação e 24,5 °C para a segunda, foi utilizado o nomograma de temperatura efetiva para determinação da temperatura em questão no ginásio poliesportivo (Figura 11). A temperatura efetiva consiste na temperatura percebida pelo usuário, a sensação térmica dentro da edificação. Para as simulações do presente trabalho foi utilizada a velocidade do ar igual a 1 m/s, velocidade escolhida simulando uma situação de ventilação relativamente média e por ser o valor indicado pelas autoras Frota e Schiffer (2001).

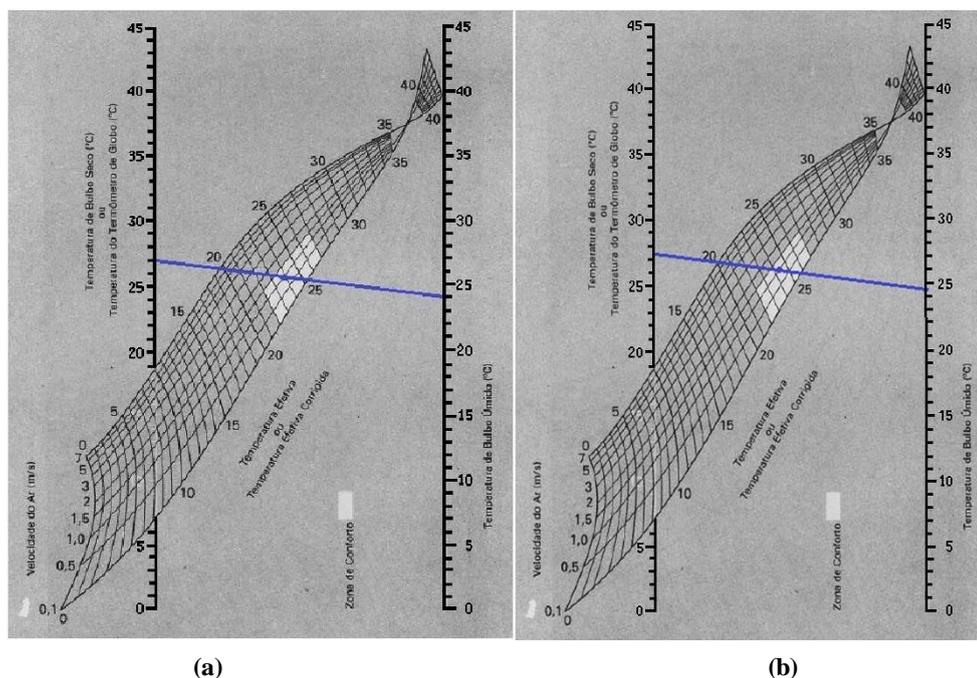


Figura 11: (a) Determinação da temperatura efetiva para a primeira análise e (b) segunda análise.  
Fonte: Frota e Schiffer (2001) adaptado

A área preenchida com cor mais clara no nomograma corresponde à zona de conforto térmico. Portanto a primeira situação analisada, considerando a atividade esportiva, se encontra dentro da zona de conforto (Temperatura efetiva de 23,9 °C) e a segunda situação analisada (Temperatura efetiva de 24,3 °C), sem atividade esportiva, se encontra também dentro da mesma zona. Com isso pode-se perceber que nesta simulação a atividade metabólica possui pouca influência direta na situação de conforto térmico dentro da edificação, ou seja, para a zona de conforto considerada.

## 5. Considerações Finais

Considerando os objetivos propostos neste trabalho, desenvolver um programa em linguagem Java capaz de realizar a avaliação do desempenho térmico de edificações seguindo o método CSTB e verificando a viabilidade do programa através da avaliação do ginásio poliesportivo da UFVJM campus Mucuri, pode-se concluir que os objetivos foram alcançados. O programa Conforto MAIS foi capaz de seguir os passos do método CSTB, mostrando a sua eficácia, finalizando na determinação da temperatura interna máxima da edificação. A caracterização da temperatura efetiva e a do bulbo úmido foram obtidas externas ao programa.

Como consequência da aplicação do Conforto MAIS, os resultados da avaliação do desempenho térmico do ginásio poliesportivo, conforme ponderação das duas situações de ocupação da edificação, foi possível concluir que o prédio se encontra dentro da zona de conforto (com as temperaturas efetivas entre 23,9 °C e 24,3°C). Tal situação significa que não são necessárias adaptações à edificação de forma a contribuir para a situação de conforto do mesmo. Assim, a aplicação possui fácil utilização e encontrou resultados satisfatórios para o fim na qual se destina.

Por conseguinte, o programa se mostrou uma ferramenta útil a ser manipulada para simulações ainda em fase de projeto a fim de se obter a melhor solução no que se refere ao conforto térmico dos moradores ou usuários da edificação. Tal afirmativa é justificada devido a simplicidade dos dados a serem adicionados ao programa para realização da avaliação, sendo que grande parte das informações solicitadas na aplicação seguem certo padrão ou intervalo de valores pré-definidos, seja por dimensões do material ou determinada pela mão de obra.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro. 2013.

FRANCISCO, M. D. L. Recomendações de conforto térmico para projeto arquitetônico e implantação de unidades habitacionais em assentamentos rurais: caso assentamento rural Sepé Tiaraju, Serra Azul-SP, Dissertação – Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo - USP. 2009.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. T. R. Manual de conforto térmico. Studio Nobel. 2001.

GONÇALVES. Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa. Lisboa, INETI. 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/teofilo-otoni>>. Acesso em 25 de fev. de 2018.

LAMBERTS, R; GHISI, E; PAPST, A. L; CARLO, J. C. Desempenho térmico de edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

MORAES, O. D. Avaliação do desempenho térmico de uma residência na região central de Campinas, Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. 1999.

OLESEN, B. W. *The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. Energy and Buildings. Issue 7, v.39, p.740-749. 2007.*

OLIVEIRA, C. C.; SAKIYAMA, N. R. M.; CAMPOS, R. B.; PRATES, I. B.; MIRANDA, L. V. Elaboração do ano climático de referência para Teófilo Otoni – MG: Verificação das diretrizes construtivas propostas pela NBR 15220. XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2016.

SORGATO, M. J. Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2009.