

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO EM VITÓRIA – ES - REGIÃO SUDESTE.

CALMON, J. L. (1); SANTOS, S. B. (2); SILVA, C. J. (3); PETTERSEN, P. L. (4)

(1)Dr. Ing.; Professor Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFES) - Universidade Federal do Espírito Santo; Rua Moacir Avidos, 448/302, Praia do Canto, CEP 29057-230, Vitória – ES, Brasil – calmont@npd.ufes.br

(2) Mestrando em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFES) - Brasil, sergio.b.s@bol.com.br

(3) Mestrando em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFES) - Brasil, claudioj@npd.ufes.br

(4)Aluno de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq, phablopettersen@hotmail.com

RESUMO

Os diferentes sistemas de vedação utilizados nas edificações sofrem a influência de variáveis climáticas (temperatura ambiente, radiação solar, umidade do ar, velocidade do vento) que interferem no seu comportamento térmico-mecânico. Assim, as diferentes ações solicitantes podem vir a contribuir para o surgimento de tensões e consequentemente, alguns fenômenos patológicos, como fissuração da vedação das edificações. Pretende-se neste trabalho analisar o comportamento térmico de diferentes sistemas de vedação, utilizando-se o método dos elementos finitos (MEF) e como ferramenta o software PFEM_2D (SILVA, 1999) já desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-graduação em engenharia Civil da UFES. Analisa-se estes sistemas sob ação de radiação solar e variação de temperatura ambiental para uma cidade da região Sudeste do Brasil. Assim, pode-se avaliar melhor a influência das variáveis que influenciam as diferenças de temperaturas, segundo a localização das edificações, e fornecer critérios de projeto para os projetistas das edificações.

Palavras-chave: método dos elementos finitos; PFEM_2D; sistemas de vedação; comportamento térmico.

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral os efeitos gerados devido a fatores climáticos em diferentes tipos de vedação, tais como: fissuras, rachaduras, empenamentos e descolagem. Resultado provável de uma escolha inadequada dos materiais, ou execução fora dos padrões exigidos pelos processos construtivos atuais. Por outro lado, se os materiais de vedação forem devidamente projetados para trabalharem em conjunto, levando em consideração as diferentes variações de temperaturas diárias, a insolação diária, a convecção térmica, os mesmos poderiam trabalhar de forma mais eficiente, propiciando uma melhor avaliação das causas de algumas patologias e gerando uma sistema de vedação mais adequado ao clima que estão submetidos.

Deve-se ressaltar que os materiais de vedação devem, além de resistir bem às intempéries, proporcionar um ambiente interno com um determinado conforto térmico, impedindo, assim, que haja um fluxo de calor inadequado para a região interna de um recinto.

Assim, neste trabalho pretende-se analisar e obter a resposta térmica de sistemas de vedação constituídos de blocos cerâmicos e blocos de concreto, para a região de Vitória-ES, em distintas estações do ano.

2. MODELO DE ANÁLISE TÉRMICA

Assumindo que os materiais se comportem como um meio contínuo, homogêneo e isótropo, a equação diferencial que governa o fenômeno de transmissão de calor em um domínio bidimensional é:

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

onde k é a condutividade térmica ($\text{W/ m}^0\text{C}$), ρ é a densidade (kg/ m^3), c é o calor específico ($\text{J/ kg}^0\text{C}$) e T é a temperatura (^0C), função do ponto considerado e do tempo.

O modelo de análise térmico é linear, ou seja, as propriedades térmicas e a densidade, os parâmetros que influem na resolução da equação diferencial de transmissão de calor não dependem da temperatura, apesar de o programa PFEM_2D considerar a análise não-linear (SILVA & CALMON, 2000). O modelo numérico utiliza a técnica dos elementos finitos no domínio bidimensional para avaliar e quantificar o efeito do calor externo e interno ao domínio.

2.1. Interação térmica entre estrutura e ambiente

Toda estrutura exposta às intempéries fica submetida a uma troca de energia calorífica no seu contorno. Esta é atribuída a três mecanismos: convecção (q_c), radiação solar (q_s), e radiação térmica (q_r); sendo os dois primeiros contemplados neste trabalho.

A condição de contorno associada à equação (1) é a condição de fluxo prescrito de Neumann:

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial x} n_x + \frac{\partial T}{\partial y} n_y \right) + q(x, y, t) = 0 \quad (2)$$

sendo (q) o fluxo de calor induzido pelos fenômenos de convecção e radiação

$$q(x, y, t) = q_{radiação solar} + q_{convecção} \quad (3)$$

A condição de Dirichlet, ou de temperatura prescrita, é suposta conhecida para todo o tempo (t), a temperatura (T), em qualquer ponto do contorno afetado (Γ):

$$T(x, y, t) = T_{prescrita}(x, y, t) \quad \text{em } (\Gamma) \quad (4)$$

A transferência de calor por convecção está relacionada com o movimento das partículas de ar e depende, fundamentalmente, da diferença entre temperatura do ar T_{ar} e a temperatura da superfície do domínio T_s . A perda ou ganho de calor pode expressar através da lei de esfriamento de Newton:

$$q_c = \beta_c \cdot (T_s - T_{ar}) \quad (5)$$

onde o parâmetro β_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W/ m}^2 0\text{C}$). O valor deste coeficiente depende de numerosos fatores, tais como, a densidade, viscosidade e velocidade do fluido e a rugosidade da superfície, podendo determinar seu valor de forma experimental, analítica ou mediante fórmulas empíricas (CEB, 1985). Em relação à evolução diária da temperatura do ar, esta pode aproximar-se através de funções senoidais, biparabólicas ou bilineares (CALMON, 1995)¹.

A intensidade de radiação solar incidente em um instante “ t ” pode ser obtida mediante a seguinte expressão (EMERSON, 1973):

$$I(t) = \frac{2 \cdot W_0}{t_0} \cdot \text{sen}^2 \left(\frac{\pi \cdot t}{t_0} \right) \quad (6)$$

¹ Usou-se neste trabalho uma forma senoidal.

onde W_0 (W.h/m²) é a intensidade de radiação solar máxima e t_0 (h) é o período de insolação no dia. A aplicação da equação (6) é válida para casos em que se disponha de medidas experimentais de radiação solar e números de horas de sol. A quantidade de calor absorvido através das superfícies devido à incidência de raios solares será, então:

$$q_s = a.I_{(t)} \quad (7)$$

onde a é o coeficiente de absorção solar do material.

3. ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO – PFEM_2D (SILVA & CALMON, 2000)

Foi desenvolvido um programa de computador baseado no Método de Elementos Finitos – MEF, denominado PFEM_2D, o qual analisa a resposta térmica de estruturas em domínios bidimensionais de qualquer geometria, em regimes transitório ou permanente, e realiza análise linear ou não-linear. O programa PFEM_2D vem sendo desenvolvido desde 1997, e foi concebido para analisar sólidos e estruturas, visando fornecer as seguintes respostas:

- determinação do campo de temperaturas em estruturas de concreto nas suas idades iniciais, considerando o desenvolvimento do calor de hidratação, visando posteriormente fornecer dados para determinar tensões de origem térmica;
- determinação do campo de temperaturas em estruturas, considerando a ação térmica ambiental, objetivando determinar dados para posterior cálculo tensional devido a ação térmica ambiental;
- análise do campo de temperaturas de estruturas de concreto, aço e mistas sob condições de incêndio, visando posterior determinação da resistência ao fogo.

O programa PFEM_2D analisa a estrutura tanto em fase de pré-processo e processo quanto nas fases de emissão e/ou impressão gráfica de resultados em ambiente Windows (pós-processo). Como dados iniciais, o programa analisa as condições iniciais do problema, solicitando ao usuário: geometria da estrutura, número de nós e elementos utilizados, parâmetros da curva de calor de hidratação (para o caso do concreto), propriedades físicas do material (condutividade térmica, calor específico, etc.), condições iniciais de análise (instante e temperatura inicial e o tempo total de análise); em relação às condições de contorno do problema, o usuário deve especificar se há temperatura e/ou fluxo de calor impostos, a função de temperatura ambiente (constante ou não), radiação de onda larga, e em quais partes do domínio há influência do meio externo sobre a estrutura.

As entradas (dados iniciais) podem ser lidas através de arquivos textos manipulados pelo usuário.

O programa analisa os resultados de forma prática e conveniente para o usuário. Os resultados podem ser visualizados por evolução de temperatura no tempo para qualquer ponto; pelo comportamento da temperatura segundo um dado eixo (transversal ou longitudinal); e/ou por isoterma em cores para um dado instante da análise.

4. VALIDAÇÃO DO PROGRAMA PFEM_2D PARA A ANÁLISE TÉRMICA DE MATERIAIS DE VEDAÇÃO

Para poder analisar diversos tipos de sistemas de vedação, o programa PFEM_2D foi validado através de uma comparação de resultados com aqueles obtidos por RAHMAN (1986), onde são analisadas as respostas térmicas de uma parede típica da cidade de Ottawa - Canadá.

O modelo da parede descrito por RAHMAN (1986) é constituído pelo conjunto formado por um bloco de concreto de 190 mm de espessura em contato direto com o meio externo, seguido por uma camada de material isolante de 50 mm de espessura tendo como acabamento interno uma estreita camada de argamassa de 12 mm.

Este sistema de vedação é típico da cidade de Ottawa no Canadá, onde as condições climáticas são severas tanto no verão quanto no inverno. A incidência dos raios solares foi considerada perpendicular a superfície, apesar de o modelo de RAHMAN (1986) dar um tratamento mais realista quanto incidência de radiação solar. A velocidade do vento é considerada variável segundo as estações do ano, implicando numa variação do coeficiente de convecção. O período de insolação é relativamente grande, 14 horas, comparado com o Brasil, período que varia de 10 a 12 horas durante o ano.



Figura 1 – Seção transversal típica de uma parede de vedação (RAHMAN, 1986).

As propriedades dos materiais foram baseados nas descrições feitas por RAHMAN (1986) e são apresentadas na tabela (1):

Tabela 1 – Dados utilizados por RAHMAN (1986).

Temperatura Ambiente de verão	Máximo=38 [°C] mínimo=24 [°C]
Temperatura Interna Prescrita	20 [°C]
Velocidade média do vento no verão	1m/s
Dados da Radiação Solar	$W_0 = 5070$ [W.h/m ² /dia] Absorção solar: bloco = 0,75 Período de insolação = 14 [h] (valor estimado)
Massa específica	Bloco = 2000 [kg/m ³] Isolamento = 500 [kg/m ³] Acabamento = 1600 [kg/m ³]
Condutividade Térmica	Bloco = 1,000 [W/m°C] Isolamento = 0,08 [W/m°C] Acabamento = 0,136 [W/m°C]
Calor Específico	Bloco = 0,90 [kJ/kg °C] Isolamento = 1,21 [kJ/kg °C] Acabamento = 1,09 [kJ/kg °C]
Coeficiente de convecção (β_c em função do vento)	9,6 [W/m ² .°C]

O valor do coeficiente de convecção foi obtido através do CEB (1985) a partir da expressão (8) em função da velocidade do vento v (m/s).

$$\beta = 4.v + 5,6 \quad (8)$$

O domínio foi igualmente distribuído em elementos triangulares de 3 nós, sendo usados 288 elementos e 169 nós. A discretização do domínio é mostrada na figura (2).

Na figura (3), pode-se notar variações térmicas consideráveis entre a faces externa e interna para a hora de temperatura máxima (14 horas), alcançando uma diferença de temperatura da ordem de 30 °C. Já para a madrugada essa diferença é mais amena (aproximadamente 10 °C). Verifica-se ainda que, para os instantes de temperaturas máxima e mínima, há uma brusca mudança de inclinação da curva no ponto de transição do bloco para o isolante térmico.

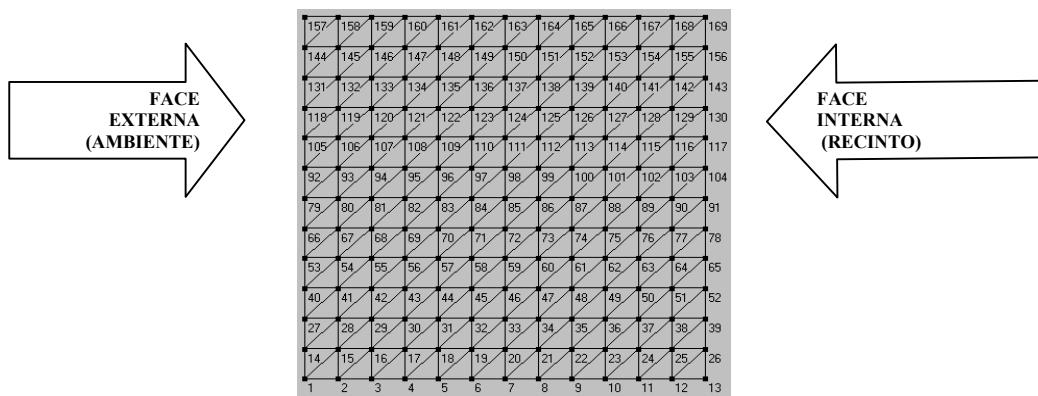


Figura 2. - Discretização do domínio.

Na face externa verifica-se uma acentuada variação de temperatura no decorrer do dia, chegando a aproximadamente 35 °C pela madrugada, enquanto que a tarde alcança o pico de 57 °C, ou seja, uma variação de 22 °C em vinte e quatro horas de exposição aos agentes climáticos.

A variação de temperatura num período de 24 horas está representado na figura (4). Verifica-se um máximo de temperatura na face externa do bloco de aproximadamente 56°C às 14:00 calculado por RAHMAN (1986) e às 16:00 calculado pelo programa PFEM_2D. No meio do bloco foi atingido uma temperatura máxima de aproximadamente 48 °C às 16:00 para ambos os modelos.

Percebe-se que há uma defasagem no máximo valor da temperatura no meio do bloco em relação à face externa, o que mostra a existência de um tempo de aproximadamente 2 horas para que o calor proeminente da superfície externa venha a tornar a temperatura do bloco a máxima possível num ciclo de 24 horas.

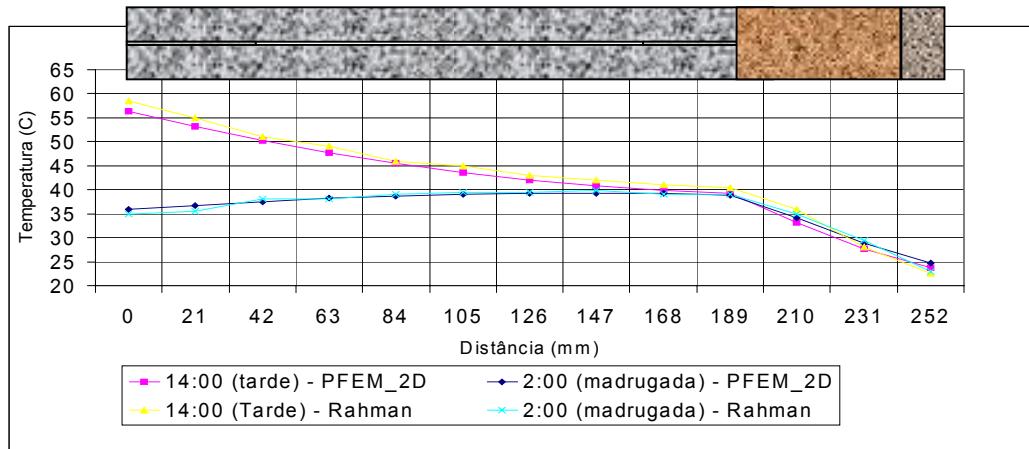


Figura 3 – Distribuição de temperatura ao longo da seção transversal da parede.

Tabela 2 - Comparação dos resultados de temperaturas máximas e mínimas para os dois casos de análise.

Meios de Obtenção dos Resultados	Temperatura [°C] e instante de sua ocorrência [horas]			
	Máxima		Mínima	
	Superfície Externa	Meio do Bloco	Superfície Externa	Meio do Bloco
RAHMAN (1986)	57,3 17:00	48,5 19:00	33,0 5:00	35,0 7:00
	56,3 14:00	48,8 16:00	34,3 2:00	36,3 4:00
PFEM_2D				

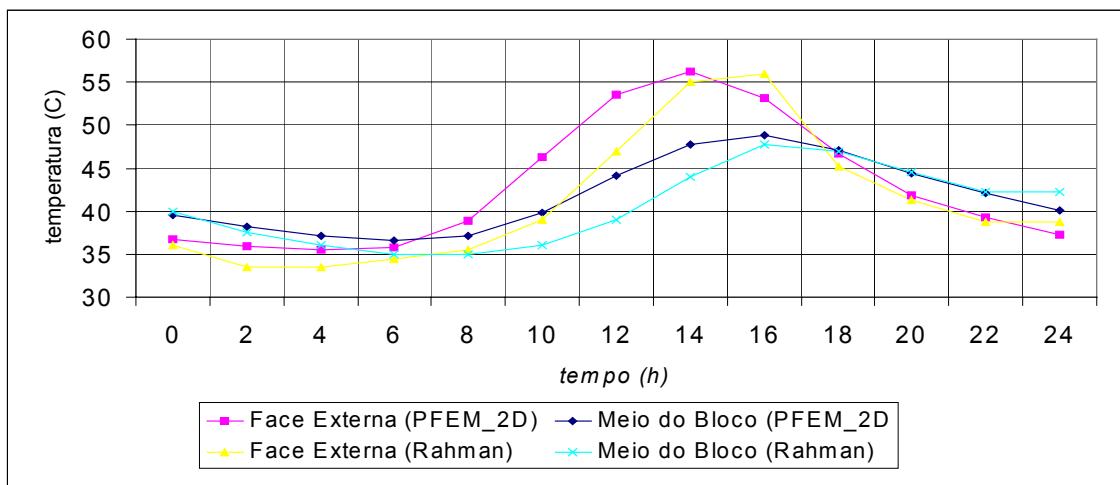


Figura 4. – Evolução de temperatura diária para as condições de verão.

5. ESTUDOS DE CASO

Foi tomado como base comparativa para este artigo alguns sistemas de vedação característicos da região sudeste, mais precisamente da capital Vitória - Espírito Santo, bem como dados climáticos desta região.

5.1 Dados climatológicos

Os dados climatológicos da cidade de Vitória foram obtidos segundo INMET (2001), como as temperaturas máximas e mínimas, a umidade e horas de insolação para um determinado mês (figura 5).

Nas tabelas (3) e (4) são apresentados os dados relativos à temperatura e insolação para as estações do ano analisadas. Em relação ao período de insolação (ver tabela (4)) foi considerada a média dos respectivos meses referentes às estações do ano estudadas.

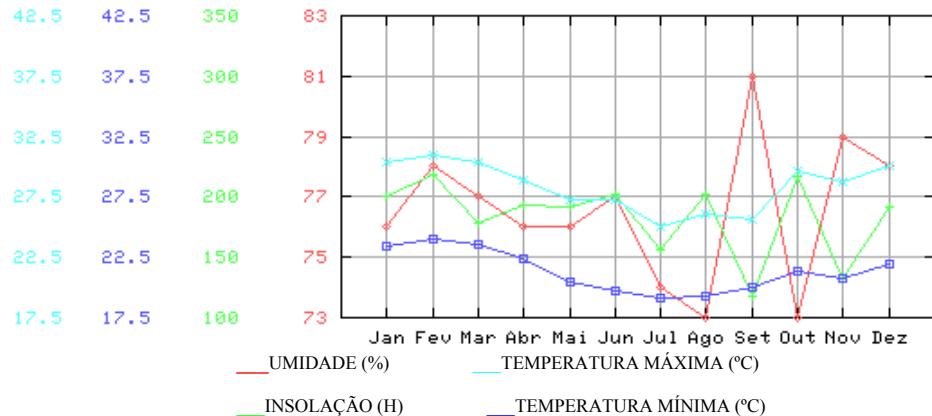


Figura 5 – Dados climatológicos de Vitória ES para o ano de 2000

Tabela 3 – Temperaturas para a cidade de Vitória no ano de 2000.

Verão	Máxima: 30 °C Mínima: 23 °C
Inverno	Máxima: 26 °C Mínima: 19 °C

Tabela 4 – Período médio de insolação em horas

Verão	$t_0 = 12$ horas
Inverno	$t_0 = 10$ horas

O valor da intensidade de radiação solar foi obtido através de um software denominado SUNDATA (2001). O programa SUNDATA (2001) baseia-se no banco de dados CENSOLAR (2001) contendo valores de radiação média diária mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes (ver tabela 5).

Tabela 5- Radiação incidente em Vitória no decorrer dos anos em $kWh / m^2 \cdot dia$

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Verão	Inverno
Radiação	6.14	5.97	5.50	4.56	4.17	3.67	3.89	4.53	4.31	5.11	5.00	5.67	5,93	4,03

A partir da expressão (8), obteve-se o valor do coeficiente de convecção igual a 17,6 $W/m^2 \cdot ^\circ C$, para a velocidade de vento de 3 m/s - GOULART et al (1997).

5.2 Dados do ambiente interno

Para a análise de vedações faz-se necessário obter dados ambientais do recinto (interior). Como não existem tais dados, optou-se por adotar valores que possibilitem um conforto térmico adequado. Esses dados podem ser vistos na tabela (6) (COSTA, 1991).

Tabela 6. – Condições internas de conforto.

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		Temperatura [°C]	Umidade Relativa [%]	Temperatura [°C]	Umidade Relativa [%]
Conforto	Residências, hotéis, ...	23 a 25	40 a 60	26,5	65

5.3 Vedação de blocos cerâmicos com reboco interno e externo

Inicialmente analisou-se uma vedação constituída de blocos cerâmicos com reboco interno e externo, sendo este tipo de vedação um dos mais utilizados na região Sudeste.

As características, dimensões e propriedades dos materiais envolvidos neste caso, em conjunto com os dados ambientais aos quais eles estão inseridos são resumidas na figura (6) e tabela (7)².

Tabela 7 – Dados da parede de vedação típica de Vitória.

Temperatura Ambiente	Máxima=30 [°C] mínima=23 [°C] (verão) Máxima =26 [°C] mínima =19 [°C] (inverno)
Temperatura Interna Prescrita	23 [°C] (inverno) -- 24 [°C] (verão)
Velocidade média do vento	3 [m/s]
Coeficiente de convecção (β_c em função do vento)	17,6 [W/m ² °C]
Dados da Radiação Solar	$W_0 = 5930$ [W.h/m ² /dia] (verão) $W_0 = 4030$ [W.h/m ² /dia] (inverno) Absorção solar: reboco pintado de branco = 0,30 Período de insolação = 12 [h] (verão) Período de insolação = 10 [h] (inverno)
Massa específica	Bloco cerâmico= 1300 [kg/m ³] Reboco interno e externo= 1600 [kg/m ³]
Condutividade Térmica	Bloco cerâmico = 0,90 [W/m ⁰ C] Reboco interno e externo= 1,15 [W/m ⁰ C]
Calor Específico	Bloco cerâmico = 0,92 [kJ/kg °C] Reboco interno e externo = 1,00 [kJ/kg °C]

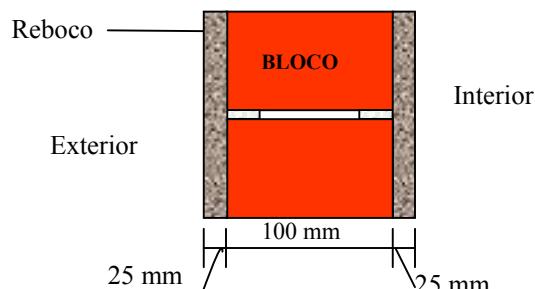


Figura 6 – Seção transversal típica de uma parede de vedação de uma residência

Na figura (7), pode-se perceber a presença de uma significativa variação de temperatura do exterior (36 °C) para o interior (26 °C) no período de verão em Vitória.

A face externa está sujeita, durante as estações do ano, a um razoável intervalo de valores de temperatura, atingindo um máximo de 36 °C no verão, e um mínimo de 21 °C no inverno. Valores estes que combinados com outros fatores podem provocar sérias patologias no decorrer dos anos.

Durante o dia, a temperatura alcançada pela face externa no verão atingiu valores superiores a 36 °C, enquanto que, para a mesma estação do ano à mesma hora do dia (12:00), no meio do bloco o valor aproximado foi de 29 °C.

As mudanças mais significativas de temperatura ocorrem no intervalo de tempo entre 8 da manhã às 18 da tarde, intervalo coincidente com o período em que a insolação incide diretamente na face externa da vedação. Verifica-se ainda que há um instante do dia, para o inverno e verão, em que a temperatura no meio do bloco coincide com a da face externa.

As isotemperaturas geradas pelo do programa PFEM_2D, figuras (8.b) e (8.c), demonstram claramente as situações adversas de intempéries que o sistema de vedação está sujeito durante as estações do ano analisadas. Pode-se perceber através delas que as variações são mais sensíveis próximas às superfícies de contato com o meio externo e que no interior da vedação não existem variações significativas.

² A condutividade térmica adotada para o bloco cerâmico foi estabelecida em função da densidade do mesmo, assim como as outras propriedades físicas dos materiais foram obtidas segundo BARBOSA (1997).

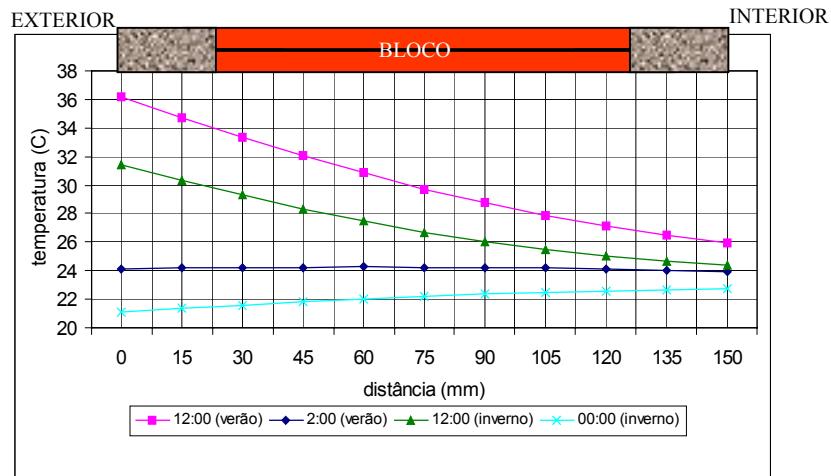


Figura 7. – Distribuição de temperatura ao longo da seção transversal da parede.

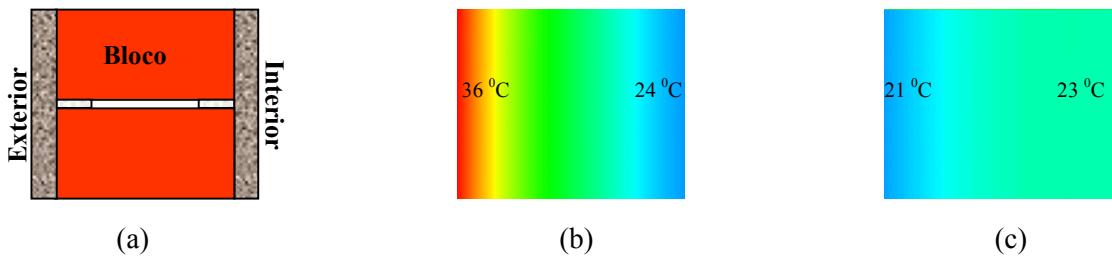


Figura 8 – (a) Tipo de vedação analisado. (b) hora de máxima temperatura no verão. (c) hora de mínima temperatura no inverno.

5.4 Vedação de blocos de concreto com reboco interno e externo

Esse tipo de vedação é muito empregado em edifícios residenciais na região sudeste. Sua característica fundamental para sua utilização em larga escala na construção civil, é devida a sua melhor homogeneidade da sua composição e planicidade de sua superfície, o que torna a parede mais fácil de ser construída e com menor gasto de reboco para regularizar as superfícies onduladas ou defeituosas. Essa vedação é composta do assentamento de bloco de concreto rebocado interna e externamente com uma mesma argamassa (mesmas propriedades). A espessura do bloco considerado foi de 15 cm, e do reboco igual a 2,5 cm, conforme figura (9). Na tabela 8 são resumidas as propriedades térmicas-BARBOSA (1997)³.

Tabela 8 – Dados da parede de vedação típica de Vitória.

Massa específica [kg/m ³]	Bloco concreto = 2400 -- Reboco interno e externo= 1600
Condutividade Térmica [W/m°C]	Bloco concreto = 1,75 -- Reboco interno e externo= 1,15
Calor Específico [kJ/kg°C]	Bloco concreto = 1,00 -- Reboco interno e externo = 1,00

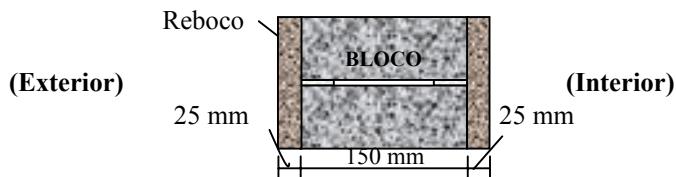


Figura 9. – Seção transversal típica de uma parede de vedação de um apartamento residencial.

Na figura (10), observa-se que, no verão, a superfície externa atingiu uma temperatura de 34 °C e um mínimo de 25 °C em 24 horas de análise; sendo que no inverno o máximo foi de 29 °C e o mínimo de 22 °C. A inclinação da curva apresenta um valor mais acentuado na região compreendida entre a superfície externa até aproximadamente o meio do bloco de concreto, sendo, portanto a região da vedação mais sujeita as intempéries.

³ As outras propriedades térmicas são descritas segundo a tabela (7), sendo que as temperaturas prescritas no recinto foram: para o verão 24°C e para o inverno 23°C

Nas isotemperaturas geradas pelo programa PFEM_2D, representadas pelas figuras (11.b) e (11.c), nota-se que a distribuição de temperatura é semelhante a apresentada pela vedação composta de bloco cerâmico, porém é mais suave, havendo uma melhor distribuição de temperatura ao longo da espessura da vedação.

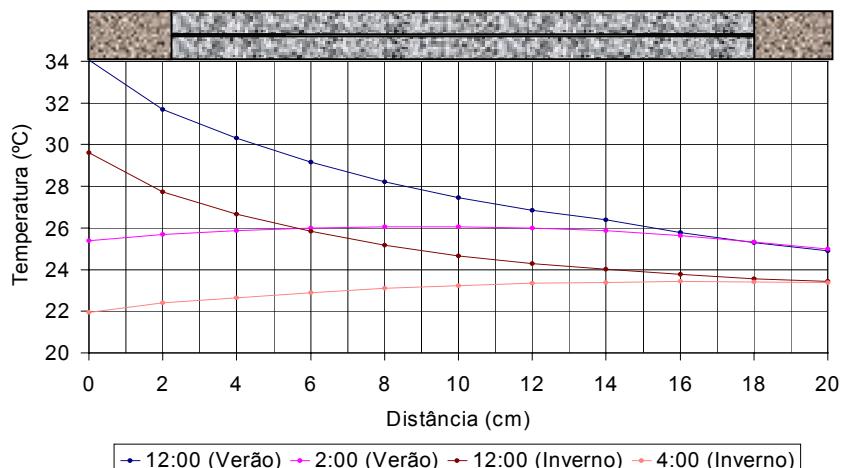


Figura 10 – Distribuição de temperatura ao longo da seção transversal da parede.

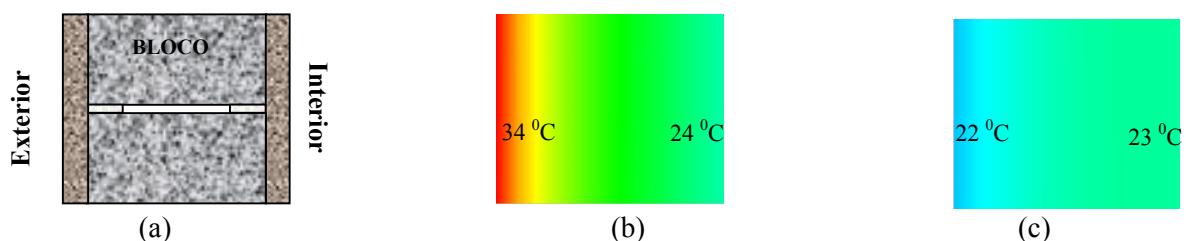


Figura 11 – (a) Tipo de vedação analisado. (b) hora de máxima temperatura no verão. (c) hora de mínima temperatura no inverno.

Nas tabelas (9) e (10) são resumidas as comparações dos resultados obtidas para as estações de verão e inverno para os diferentes materiais utilizados.

Na tabela (11) encontram-se as máximas diferenças de temperatura entre as faces externa e interna, para as estações de verão e inverno, obtidas nos dois sistemas de vedação⁴. Observa-se que não houve diferença significativa ao se considerar os distintos materiais para uma dada estação do ano.

Tabela 9 - Comparação dos resultados das estações de verão e inverno para a vedação de bloco cerâmico.

Estação do ano	Temperatura [°C] e hora de sua ocorrência			
	Máxima		Mínima	
	Superfície Externa	Meio do Bloco	Superfície Externa	Meio do Bloco
Verão	36,16 12:00	29,92 14:00	22,12 2:00	24,84 4:00
	31,45 12:00	27,47 14:00	21,14 0:00	21,81 2:00
Inverno				

Tabela 10 - Comparação dos resultados das estações de verão e inverno para a vedação de bloco concreto.

Estação do ano	Temperatura [°C] e hora de sua ocorrência			
	Máxima		Mínima	
	Superfície Externa	Meio do Bloco	Superfície Externa	Meio do Bloco
Verão	37,05 12:00	29,36 16:00	25,40 2:00	25,54 6:00
	29,62 12:00	26,04 16:00	21,95 4:00	22,78 4:00
Inverno				

⁴ Todas as maiores diferenças de temperaturas foram atingidas durante o dia.

Tabela 11 – Máximas diferenças de temperatura entre a face externa e o recinto.

Sistema de Vedação	Diferença de Temperatura $^{\circ}\text{C}$	
	Bloco Cerâmico	Bloco de Concreto
Verão	10,22	9,16
Inverno	7,08	6,18

5. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas utilizando o programa PFEM_2D, pode-se extrair as seguintes conclusões:

- no processo de validação do modelo, verificou-se que o programa utilizado gerou resultados satisfatórios quando comparados com os resultados alcançados pelo modelo de RAHMAN (1986);
- as diferenças de temperaturas alcançadas pelos dois modelos de análise térmica não foram muito significativas, apesar de no modelo usado por RAHMAN (1986) a radiação solar ter sido contemplada de uma maneira mais realista e detalhada (como as diferentes inclinações da incidência solar) em relação ao programa PFEM_2D;
- para os estudos de caso analisados, observa-se que as temperaturas alcançadas em estações do ano distintas (verão e inverno) são expressivas, o que pode levar ao surgimento de tensões de origem térmica e, consequentemente, à patologias como fissuras;
- caso os coeficientes de absorção solar fossem superiores (considerou-se paredes pintadas de cor branca: $a = 0,3$), as temperaturas alcançadas nas paredes externas seriam maiores e consequentemente as diferenças de temperatura entre o exterior e interior também seriam mais significativas;
- novos estudos estão sendo realizados em relação ao comportamento térmico-tensional em diferentes sistemas de vedação, de modo que se possa fornecer critérios de projeto mais concretos para os projetistas de edificações;
- outros fatores serão considerados no modelo, tais como: radiação térmica, umidade do ar e aperfeiçoamento do modelo de radiação solar incidente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Janeiro, Florianópolis, 1997.
2. CALMON, J. L. **Estudio térmico y tensional en estructuras masivas de hormigón. aplicacion a las presas durante la etapa de construcción**. Tesis Doctoral, Departament d'Enginyeria de la Construcción, Universitat Politècnica de Catalunya, Mayo, Barcelona, 1995.
3. CENSOLAR. **Banco de dados** - Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundat.htm>>. Acesso em 03 Ago. 2001.
4. COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON - CEB. **Bulletins d'Information. "Thermal effects in concrete structures"**. nº 167, LAUSANNE, 1985.
5. COSTA, E. C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 4^a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
6. EMERSON, M. "The calculation of the distribution of temperature in bridges". **TRRL Report LR**, nº 561, Department of Transport, Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne, Bershire, UK, 1973.
7. GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC, 1997.
8. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados climatológicos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 30 Jul. 2001.
9. RAHMAN, A. H. **Thermal stresses in intersecting masonry walls: a finite element study**. 1986. Tesis Doctoral, The Faculty of Graduate Studies and Research, Carleton University, August, Canada, 1986.
10. SILVA, C. J.; CALMON, J. L.. Análise térmica bidimensional em regime transiente pelo método dos elementos finitos. Aplicação em estruturas metálicas e mistas em condições de incêndio. **Revista Engenharia Ciência & Tecnologia**. ISSN 1414-8692, Ano 3, ed. 17, pp. 72-82. Vitória - Espírito Santo, Brasil. Setembro/Outubro, 2000.
11. SILVA, Cláudio José da. **PFEM_2D.EXE**: Programa para análise térmica bidimensional. Vitória: UFES, Departamento de Estruturas e Edificações, 1999. 2 disquetes, $5^{1/4}$ pol. Delphi 4.0. PC 486 ou mais avançado, Windows 9.x e Windows NT 4.0.
12. SUNDATA. **Programa para avaliação de radiação solar**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundat.htm>>. Acesso em 03 Ago. 2001.