

Modelo Simplificado para Avaliação do Desempenho Térmico de Unidades Habitacionais Térreas

Claudia Loureiro

Resumo

O desempenho térmico da edificação vem sendo eleito como um dos parâmetros para a seleção de soluções adequadas para a produção de habitações de interesse social. As metodologias de análise do desempenho térmico tiveram grande avanço nos últimos anos, sobretudo com a introdução de recursos computacionais. A grande maioria destes métodos, no entanto, tem sua aplicação na fase de detalhamento de projeto, visando dimensionar componentes e sistemas específicos. Os métodos simplificados são em menor número e levam em conta modelos físicos, dificilmente adaptáveis a condições mais gerais, restringindo sua aplicação. O presente artigo discute a formulação de um modelo simplificado resultante de dados obtidos em simulações do desempenho térmico de um ambiente padrão, levando em conta tipologias construtivas adotadas pela COHAB-PE e condições de clima da Região Metropolitana do Recife. As simulações foram realizadas utilizando-se o programa NBSLD – National Bureau of Standards Load Determination, baseado nos fatores de resposta térmica dos elementos construtivos da edificação.

Abstract

In the last decades the thermal performance has been elected as one of the parameters to select alternative design solution applied to the of low-income dwellings. The methods to assess the thermal building performance have been improved in the last years, mainly with the introduction of computer techniques. Almost all the methods currently available has its application to more detailed phase of design process, aiming to size components and specific systems. Simplified methods, when available, are based on physical models rarely suitable to more general conditions. This paper focusses a simplified method to assess thermal performance of one-storey building. The method is based on data obtained from simulation of the thermal performance a typical room, and typical building materials used by the COHAB-PE, under the climatic conditions of the Metropolitan Area of Recife. The thermal performance of the room was determined by NBSLD – National Bureau of Standards Load Determination, based on the room thermal response factor.

Artigo elaborado com base na Dissertação de Mestrado "Incidência de variáveis de projeto sobre o desempenho térmico de habitações de interesse social no Estado de Pernambuco", apresentada em 1990.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Manoel Guedes S^o.

Introdução

Na última década, o desempenho térmico da edificação tem sido eleito como um dos parâmetros para a seleção de soluções adequadas para a produção de habitações de interesse social. A eleição do desempenho térmico como critério de seleção requer a elaboração de instrumentos de auxílio ao processo de projeto capazes de subsidiar o projetista em suas decisões.

As metodologias de análise do desempenho térmico de edificações tiveram grande avanço nos últimos anos. Tais metodologias podem ser reunidas em dois grupos, conforme sua aplicação.

O primeiro grupo refere-se às metodologias aplicáveis ao processo de decisões de projeto, tendo por objetivo sugerir possíveis soluções, comparar alternativas, indicar diretrizes para a solução ótima, ressaltar possíveis conflitos e ainda permitir a análise de aspectos econômicos. O segundo grupo reúne as metodologias aplicáveis à fase de desenvolvimento e detalhamento do projeto e tem por objetivo dimensionar componentes, computar o desempenho, verificar a compatibilização com regulamentos e posturas legais locais. (FAIST, 1988)

Os instrumentos de auxílio apresentam uma grande variação: manuais de projeto, nomogramas, programas para computador, sendo que estes últimos vêm substituindo gradativamente a utilização de nomogramas.

As metodologias do primeiro grupo são ainda em menor número que as do segundo. As do primeiro grupo estruturam-se enquanto métodos simplificados. As demais requerem, para sua utilização, um nível de detalhamento de projeto avançado. Dada a complexidade dos parâmetros envolvidos para sua resolução, tais metodologias exigem a utilização de equipamentos computacionais de grande porte, sendo esta uma das grandes dificuldades para sua maior aplicação. Tal dificuldade vem sendo gradativamente superada pelo avanço do uso de ferramentas computacionais aplicadas à microcomputadores.

A análise do desempenho térmico de edificações e a formulação de modelos de avaliação se aliam ao conhecimento da inter-relação *características climáticas x características térmicas da edificação*, ou seja, se aliam ao conhecimento da incidência de variáveis de projeto sobre o desempenho térmico da edificação em situações de variação cíclica de clima.

Efeitos de Três Variáveis de Projeto sobre o Desempenho Térmico de um Ambiente Padrão

Na caracterização do desempenho térmico da edificação, três variáveis de projeto têm papel de destaque frente aos fenômenos envolvidos nas trocas térmicas que se estabelecem ao nível da envolvente da mesma: características térmicas do sistema construtivo, características da superfície envidraçada e cor da envolvente. O efeito destas variáveis é resultante de sua ação conjunta com as condições de exposição da edificação (características climáticas e do entorno, orientação da edificação em relação ao sol e aos ventos dominantes) e condições de ventilação.

Efeitos das características térmicas do sistema construtivo sobre o desempenho térmico da edificação

Do ponto de vista térmico, o sistema construtivo é caracterizado por parâmetros que levam em conta a condutibilidade térmica do material¹, sua capacidade térmica² e seu calor específico³. Enquanto a condutibilidade térmica e a capacidade térmica dependem do peso específico do material e do conteúdo de umidade, o calor específico para

(1) Quantidade de calor que atravessa a área unitária de uma placa de espessura unitária, constituída de material homogêneo, por unidade de tempo, por unidade de gradiente de temperatura na direção perpendicular à área, em condições de regime estacionário. Expressa-se em $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

(2) Capacidade térmica refere-se à quantidade de calor requerida para elevar a temperatura de uma unidade de volume do elemento construtivo, de um grau. Expressa-se em $kJ/m^3 \cdot ^\circ C$.

(3) O calor específico representa a quantidade de calor necessária a elevar a temperatura de uma unidade de massa do material. Expressa-se em $J/kg \cdot ^\circ C$.

a maioria dos materiais de construção variam dentro de estreitos limites: com exceção das madeiras e metais, todos os demais têm valores do calor específico semelhantes.

Para análise do desempenho térmico da edificação consideram-se dois regimes de transmissão de calor: a transmissão de calor em regime permanente ou estacionário, e a transmissão de calor em regime variável e periódico.

Na transmissão de calor em regime permanente ou estacionário, a caracterização térmica do sistema construtivo é feita em função de parâmetros que consideram basicamente a condutibilidade térmica do material de construção, e as trocas de calor devidas aos fenômenos de radiação e convecção. Estes parâmetros são a resistência térmica ⁴ do elemento ou componente e o coeficiente global de transmissão térmica ⁵, englobando a condutância do elemento construtivo ⁶ e incorporando os coeficientes de condutância térmica superficial ⁷.

Na transmissão de calor em regime variável e periódico, a capacidade térmica do elemento de construção deve ser considerada, em conjunto com sua resistência térmica. Do ponto de vista prático, há interesse em caracterizar a edificação por apenas um parâmetro que englobe estas características básicas. Um parâmetro bastante utilizado é o produto RC do sistema construtivo. (GIVONI, 1969)

O produto RC do sistema construtivo representa o produto da resistência térmica equivalente da envolvente (RE) pela capacidade térmica do sistema como um todo, resultado da soma da capacidade térmica equivalente da envolvente (CTE) e da capacidade térmica dos elementos interiores (CTI), dado pela expressão. (VAN STRAATEN, 1967)

$$RC = RE (CTE + CTI) \text{ horas}$$

onde:

RC é o produto da resistência térmica equivalente da envolvente pela capacidade térmica do sistema como um todo expresso em horas;

RE é a resistência térmica equivalente da envolvente, expressa em $m^2 \cdot ^\circ C / W$;

CTE é a capacidade térmica equivalente da envolvente, expressa em $Wh / m^2 \cdot ^\circ C$;

CTI é a capacidade térmica efetiva interior, calculada em função da área da envolvente, expressa em $Wh / m^2 \cdot ^\circ C$.

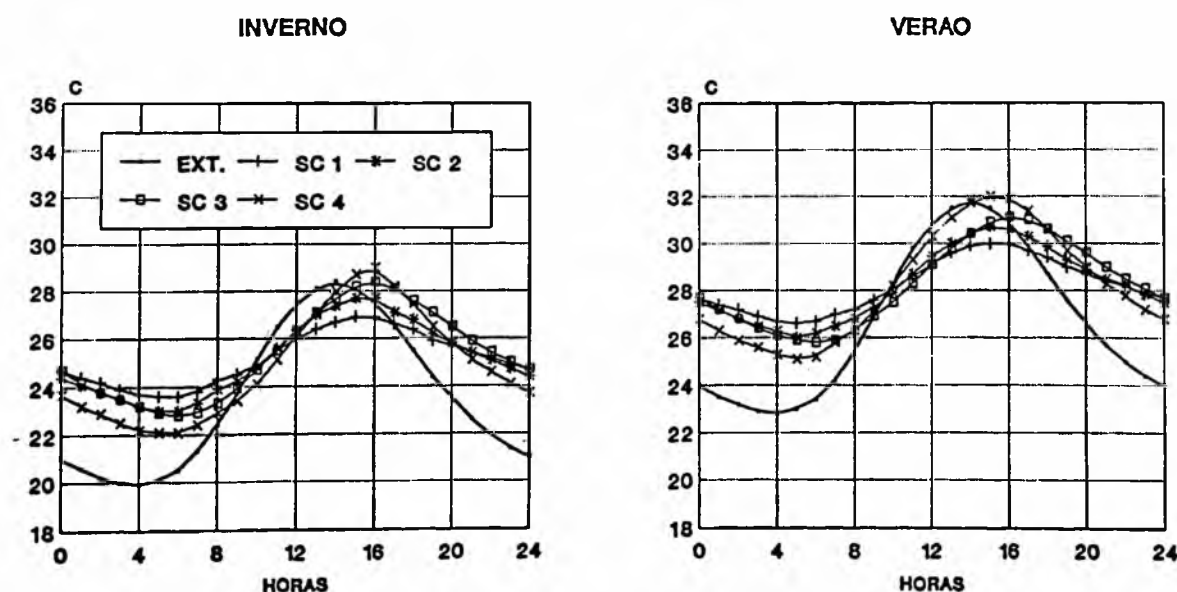
As figuras 1A e 1B mostram a variação diária da temperatura do ar interior, obtida por simulação do desempenho térmico, para um ambiente de área de piso igual a $9.00 m^2$, com três superfícies expostas à radiação solar e superfície envidraçada corresponden-

(4) Resistência térmica representa o parâmetro inverso da condutância (ver nota 6).

(5) Coeficiente global representa a quantidade de calor que atravessa o elemento construtivo, por unidade de tempo e por unidade de área, por unidade de diferença de temperatura dos ambientes que o circundam. Expressa-se em $W / m^2 \cdot ^\circ C$.

(6) Condutância representa a quantidade de calor que atravessa o elemento construtivo por unidade de tempo e por unidade de área, sob condições de regime estacionário, por unidade de diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa. Expressa-se em $W / m^2 \cdot ^\circ C$.

(7) Coeficiente de condutância térmica superficial representa a quantidade de calor trocado entre a superfície e o ar que a circunda e as trocas por radiação com outras superfícies. Expressa-se em $W / m^2 \cdot ^\circ C$.



Figs. 1A e 1B
Variação da temperatura do ar interior em função do produto RC

Quadro 1
Característica térmica dos sistemas
construtivos analisados

SC	Descrição	J	RE	RC
SC1	Cobertura: telha CA, forro gesso, ático não ventilado; Paredes: tijolo cerâmico maciço, com revestimento, e = 0.20 m	0.09	0.34	53.3
		0.54	0.29	37.2
SC2	Cobertura: idem SC1; Paredes: exteriores – idem SC1; interiores – divisória em painel madeira, com camara de ar fechada	0.09	0.34	34.3
		0.54	0.29	27.0
SC3	Cobertura: telha cerâmica com forro laje mista, ático não ventilado. Paredes: bloco cerâmico vazado (8 furos), com revestimento	0.09	0.40	35.6
		0.54	0.33	24.6
SC4	Cobertura: idem SC1 Paredes: idem SC3	0.09	0.36	26.5
		0.54	0.30	18.4

Nota: J, adimensional; RE, expresso em m² °C/W, RC, em horas

Fig. 2A
Variação timax e timin – Comportamento
da temperatura do ar interior em função do
produto RC do sistema construtivo

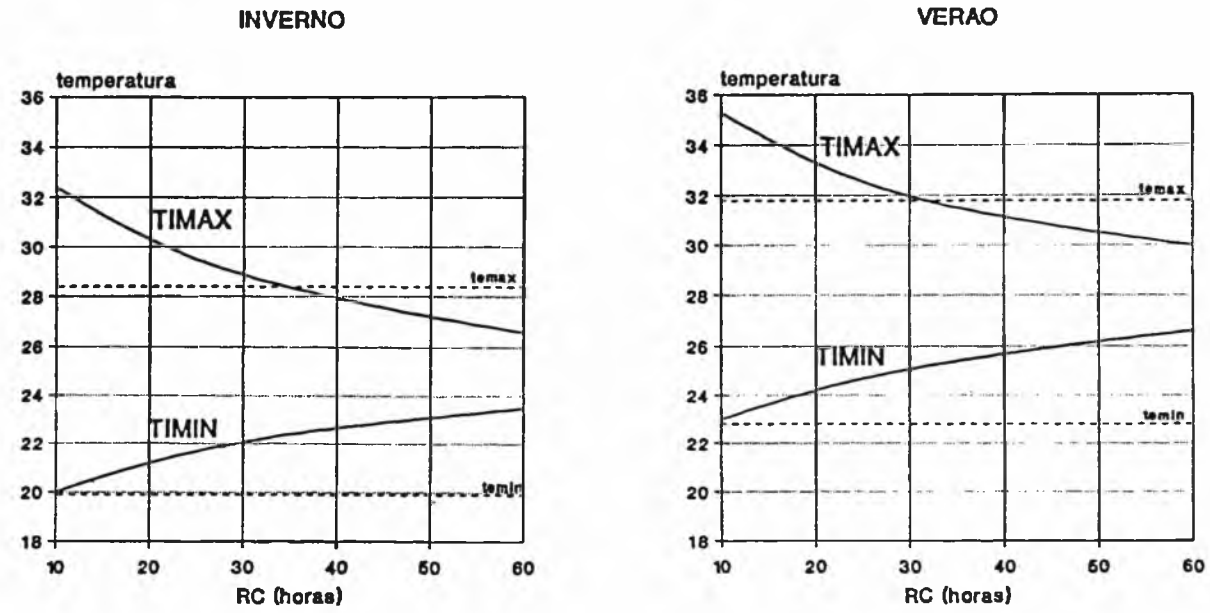
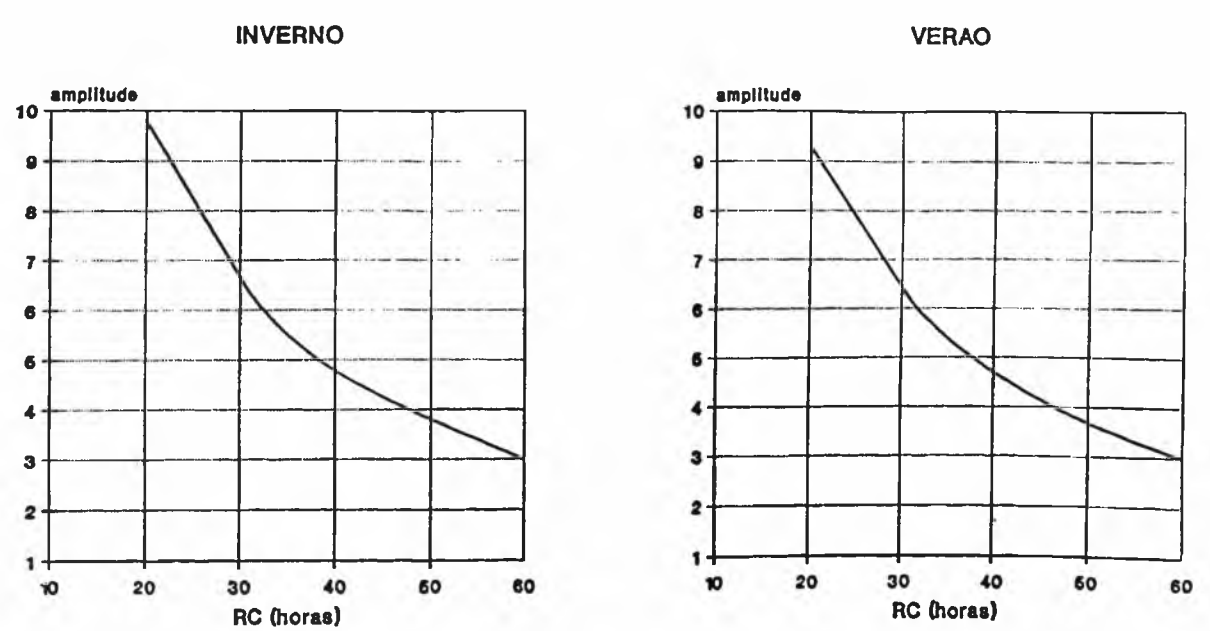


Fig. 2B
Variação da amplitude – Comportamento
da temperatura do ar interior em função do
produto RC do sistema construtivo



do a uma relação $J = 0.09$ ⁸, orientada para Norte. Para a simulação do desempenho térmico do ambiente⁹ foram utilizados quatro sistemas construtivos, com diferentes valores do produto RC (Quadro 1). As simulações foram feitas para condições de exposição típicas de Recife. As figuras 2A e 2B mostram o comportamento da temperatura interior máxima, mínima, e da amplitude do ar interior, respectivamente, em função do produto RC do sistema construtivo.

Os resultados expostos mostram que:

- a) a temperatura interior máxima, *timax*, e a amplitude da temperatura do ar interior, *AI*, decrescem à medida que cresce o valor do produto RC do sistema construtivo, enquanto que a temperatura interior mínima, *timin*, cresce;
- b) a variação da temperatura do ar interior média, *timed*, independe da variação do produto RC do sistema construtivo, estando correlacionada à resistência térmica equivalente da envolvente, RE (ver figura 3).

Efeitos da dimensão da superfície envidraçada sobre o desempenho térmico do ambiente padrão

A característica térmica do vidro é dada pelo fator de ganho solar F, sendo

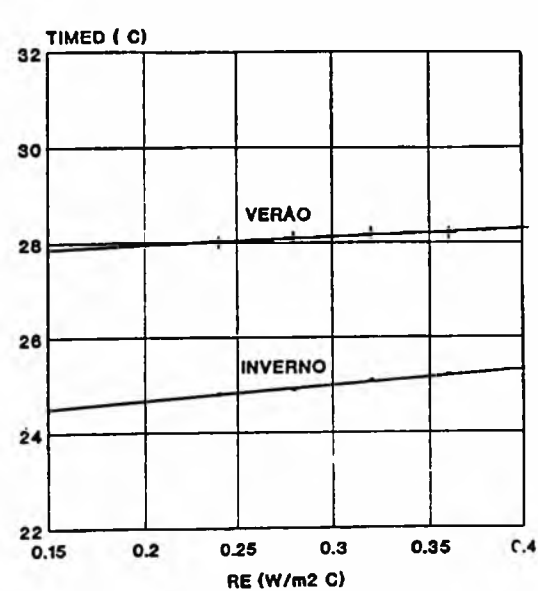
$$F = T + \frac{ABSv \cdot Uv}{he}$$

O comportamento ilustrado nas figuras 4A e 4B levou em conta um valor de $F = 0.87$, correspondente a um vidro comum, de 3 mm de espessura, com coeficiente de transparência $T = 0.86$, coeficiente de absortância¹⁰ do vidro $ABSv = 0.06$, coeficiente global de transmissão térmica do vidro $Uv = 6.00 \text{ W/m}^2\text{°C m}^2\text{°C}$ e coeficiente de condutância térmica superficial $he = 34.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

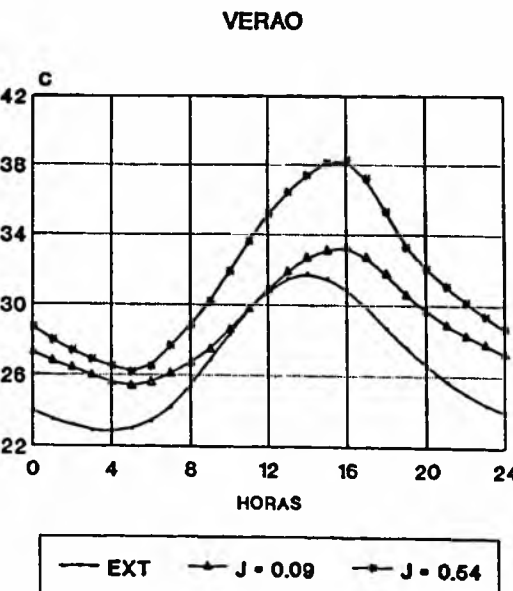
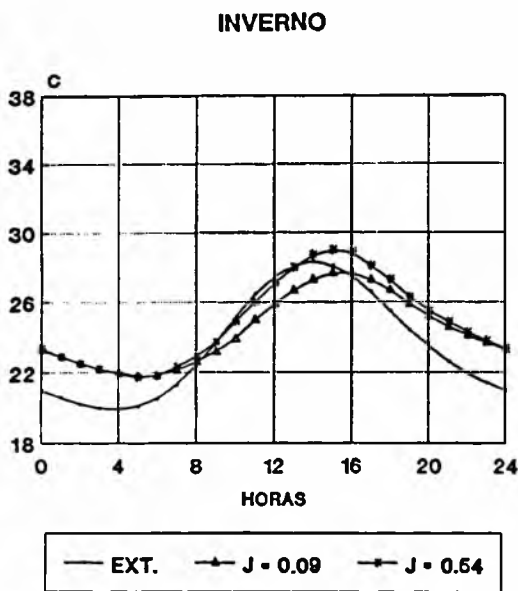
Comparando os resultados obtidos para os ambientes com valor $J = 0.09$ e os obtidos para o ambiente com valor de $J = 0.54$, observa-se que:

(8) A relação J representa a relação entre a área de superfície envidraçada *Av* (em m²) e a área de piso *Ap* do ambiente (em m²).
 (9) A simulação do desempenho térmico do ambiente foi feita utilizando-se o programa NBSLD – National Bureau Standards Load Determination Program. (KUSUDA, 1976)
 (10) Coeficiente de absortância representa a relação entre a energia solar absorvida pelo elemento e a radiação solar incidente.

Fig. 3
Orientação Norte – Comportamento da temperatura do ar interior em função do produto RC do sistema construtivo



Figs. 4A e 4B
SC 4 – Variação da temperatura do ar interior em função da relação J



Quadro 2

Desvio da temperatura do ar interior máxima (*timax*) com relação à temperatura do ar exterior máxima (*temax*) em função da relação J

Nota: AO indica o ângulo de orientação da fachada, ou azimute da fachada, contado no sentido horário a partir do Norte.

AO	SC	Inverno		Verão	
		J = 0.09	J = 0.54	J = 0.09	J = 0.54
0°	1	- 1.5°C	+ 3.1°C	- 1.8°C	- 0.2°C
	2	- 0.7°C	+ 5.1°C	- 1.1°C	+ 1.1°C
	3	0	+ 6.1°C	- 0.7°C	+ 1.3°C
	4	+ 0.6°C	+ 6.5°C	+ 0.2°C	+ 2.3°C
180°	1	- 2.6°C	- 1.4°C	- 1.0°C	+ 3.0°C
	2	- 2.0°C	- 0.5°C	- 0.2°C	+ 4.8°C
	3	- 1.3°C	0	+ 0.6°C	+ 5.9°C
	4	- 0.7°C	+ 0.6°C	+ 1.5°C	+ 6.5°C

Quadro 3

Desvio da temperatura do ar interior mínima (*timin*) com relação à temperatura do ar exterior mínima (*temin*) em função a relação J

Nota: AO indica o ângulo de orientação da fachada, ou azimute da fachada, contado no sentido horário a partir do Norte.

AO	SC	Inverno		Verão	
		J = 0.09	J = 0.54	J = 0.09	J = 0.54
0°	1	+ 3.7°C	+ 5.2°C	+ 3.8°C	+ 4.0°C
	2	+ 3.1°C	+ 3.8°C	+ 3.2°C	+ 3.1°C
	3	+ 2.9°C	+ 4.1°C	+ 3.0°C	+ 3.3°C
	4	+ 2.2°C	+ 3.1°C	+ 2.3°C	+ 2.4°C
180°	1	+ 3.2°C	+ 3.2°C	+ 4.3°C	+ 5.6°C
	2	+ 2.7°C	+ 2.5°C	+ 3.6°C	+ 4.2°C
	3	+ 2.5°C	+ 2.5°C	+ 3.4°C	+ 4.6°C
	4	+ 1.9°C	+ 1.8°C	+ 2.6°C	+ 3.4°C

Quadro 4

Comportamento da relação Ai/Ae em função da relação J

Nota: AO indica o ângulo de orientação da fachada, ou azimute da fachada, contado no sentido horário a partir do Norte.

AO	SC	Inverno		Verão	
		J = 0.09	J = 0.54	J = 0.09	J = 0.54
0°	1	0.39	0.75	0.38	0.53
	2	0.55	1.15	0.52	0.78
	3	0.66	1.23	0.59	0.78
	4	0.81	1.40	0.77	0.99
180°	1	0.30	0.43	0.41	0.71
	2	0.42	0.61	0.58	1.07
	3	0.52	0.67	0.69	1.14
	4	0.66	0.81	0.88	1.34

Quadro 5

Desvio de *timax* e de *timin* para ambiente com vedação exterior em cor escura com relação a *timax* e *timin* para ambiente com vedação exterior em cor clara (relação J = 0.09)

Nota: AO indica o ângulo de orientação da fachada, ou azimute da fachada, contado no sentido horário a partir do Norte.

AO	SC	Inverno		Verão	
		<i>timax</i>	<i>timin</i>	<i>timax</i>	<i>timin</i>
0°C	1	+ 2.1°C	+ 1.1°C	+ 1.5°C	+ 0.8°C
	2	+ 2.2°C	+ 1.0°C	+ 1.7°C	+ 0.8°C
	3	+ 2.6°C	+ 0.7°C	+ 1.7°C	+ 0.6°C
	4	+ 2.6°C	+ 0.5°C	+ 1.8°C	+ 0.4°C
180°	1	+ 1.2°C	+ 0.8°C	+ 1.5°C	+ 0.8°C
	2	+ 1.2°C	+ 0.8°C	+ 1.7°C	+ 0.8°C
	3	+ 2.2°C	+ 0.5°C	+ 1.7°C	+ 0.6°C
	4	+ 2.2°C	+ 0.4°C	+ 1.8°C	+ 0.4°C

a) de um modo geral os efeitos da variação da relação J são mais significativos sobre *timax* do que sobre *timin*. A magnitude destes efeitos depende, no entanto, da condição de exposição da superfície envidraçada à radiação solar direta. Assim, com a superfície envidraçada orientada para Sul ($AO = 180^\circ$), na condição típica de inverno, o aumento da dimensão da superfície envidraçada produz variação pouco significativa nos valores de *timax*, qualquer que seja o sistema construtivo. Nessa condição, a superfície envidraçada não está sujeita à incidência de radiação solar direta. Na condição de verão, com a superfície envidraçada sujeita à incidência da radiação solar direta, a variação da dimensão da superfície envidraçada tem um efeito bastante significativo sobre os valores de *timax*, cuja magnitude depende das características térmicas do sistema construtivo, como se pode observar no Quadro 2.

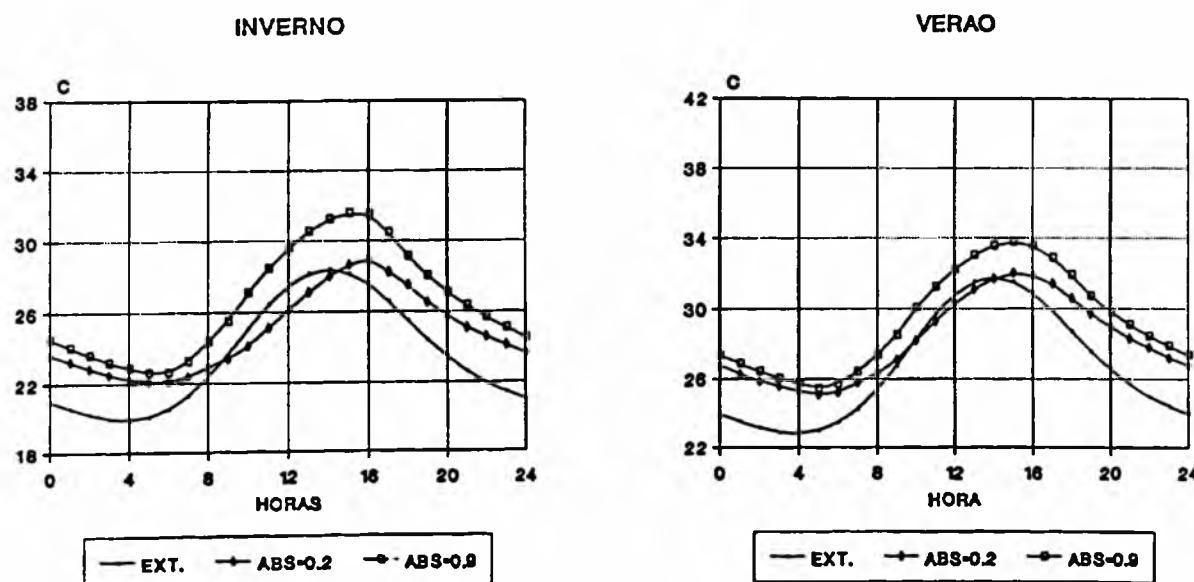
b) a variação do parâmetro *timin* é pouco significativa, tendendo à decréscimo em função da característica térmica do sistema construtivo e da incidência de radiação solar direta sobre a face que contem a superfície envidraçada, como se pode observar no Quadro 3.

c) como decorrência deste comportamento diferenciado dos dois parâmetros, a relação AI/AE , que indica a capacidade de amortecimento do sistema em relação à variação de temperatura do ar exterior, fica alterada para sistemas de mesma característica térmica, em função da incidência de radiação solar. Dado que *timin* varia de forma pouco significativa, o aumento da dimensão da superfície envidraçada produz um suplemento importante sobre o valor de AI (vide Quadro 4).

Efeitos da cor da envolvente sobre o desempenho térmico do ambiente padrão

A cor da envolvente da edificação, para efeitos da análise do seu papel sobre o desempenho térmico da edificação, é representada pelo coeficiente de absorvância à radiação solar direta, ABS, das superfícies expostas à radiação solar. As figuras 5A e 5B mostram os efeitos da variação da cor da envolvente sobre a temperatura do ar interior do ambiente com superfície envidraçada orientada para Norte, correspondendo a uma relação $J = 0.09$. Comparando os resultados, observa-se que:

a) tal como se observou para a variável 'dimensão da superfície envidraçada', o efeito da variação da cor da envolvente é mais significativo para *timax* do que para *timin* (vide Quadro 5).



Figs. 5A e 5B
SC 4 – Variação da temperatura do ar interior em função da cor da envolvente

b) a variação da cor da envolvente tem efeitos significativos sobre o amortecimento do sistema, representado pela relação AI/AE . Observa-se que tal relação aumenta quando aumenta o coeficiente de absorvância das paredes exteriores, relativizando, desta forma, o papel das características térmicas do sistema neste amortecimento.

Incidência das variáveis analisadas sobre o desempenho térmico do ambiente padrão

A análise dos efeitos das variáveis estudadas sobre o desempenho térmico do ambiente padrão permite concluir que, do ponto de vista prático, a resposta térmica da edificação a condições variáveis de clima pode ser decomposta em dois fenômenos.

O primeiro está relacionado às características térmicas do sistema construtivo e à diferença de temperatura do ar interior-exterior. Independente da orientação das superfícies expostas à radiação solar, o sistema construtivo apresenta um determinado comportamento como resposta à variação cíclica da temperatura do ar exterior, que é função da capacidade térmica e da resistência térmica de seus elementos construtivos.

O segundo fenômeno está relacionado à incidência de radiação solar sobre as superfícies da envolvente. Do ponto de vista prático, os efeitos desta incidência representam um suplemento sobre a resposta do sistema, dada em função das características térmicas do mesmo. Este segundo fenômeno pode ainda ser decomposto em dois: o primeiro, relativo às superfícies opacas da envolvente, é função de sua cor, ou seja, da capacidade de absorção da radiação solar direta; o segundo, relativo às superfícies transparentes, depende da dimensão efetiva das mesmas e de suas características térmicas. (LOUREIRO, 1990)

Modelo Simplificado para Previsão da Temperatura do Ar interior de Ambientes Têrreos

A temperatura do ar interior pode ser prevista adotando-se como hipótese que o comportamento térmico de um ambiente é resultante da adição de dois fenômenos parciais independentes, correspondendo às seguintes condições:

- a) O fenômeno de transmissão térmica se dá na ausência de radiação solar, ou seja, admitindo-se ser nula a radiação incidente sobre as superfícies da envolvente;
- b) o fenômeno se dá admitindo-se temperatura do ar exterior nula.

Considerando-se como verdadeiras estas duas condições, os parâmetros máximo e mínimo podem ser deduzidos a partir do cálculo de dois outros parâmetros:

1. Relação AI/AE , entre a amplitude da temperatura do ar interior e a amplitude da temperatura do ar exterior;
2. a diferença entre as temperaturas médias, $TIMED - TEMED$.

Conhecidos estes parâmetros, os valores de t_{imax} e de t_{imin} ficam determinados, de forma simplificada, pelas seguintes expressões

$$t_{imax} = TIMED - AI/2 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$t_{imin} = t_{imax} - AI \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

onde:

t_{imax} é a temperatura do ar interior máxima prevista;

t_{imin} é a temperatura do ar interior mínima prevista;

TIMED é a temperatura interior média prevista;

AI é a amplitude da temperatura do ar interior prevista.

Cálculo da amplitude da temperatura do ar interior, AI

A amplitude da temperatura do ar interior, AI, pode ser calculada admitindo-se as duas condições de base acima descritas. Assim sendo, a amplitude da temperatura do ar interior será resultante dos dois fenômenos: amplitude da temperatura do ar interior na ausência de radiação solar, adicionada a um suplemento decorrente da incidência de radiação solar sobre as superfícies expostas, calculado na hipótese de temperatura do ar exterior nula.

Dos resultados empíricos obtidos a partir da simulação do desempenho térmico do ambiente padrão descrito anteriormente, foi possível obter a correlação representada na figura 6, entre a relação ai/AE , a resistência térmica equivalente da envolvente, RE e o produto RC do sistema construtivo. A função geométrica que se ajusta aos resultados empíricos tem coeficiente de correlação 0.93, sendo que

$$ai/AE \cdot 1/RE = 37.4 (RC)^{-0.9113}$$

onde:

ai é a amplitude da temperatura do ar interior na ausência de radiação solar, em °C;

AE é a amplitude da temperatura do ar exterior, função do dia típico de projeto em °C;

RE é a resistência térmica equivalente da envolvente, em m²°C/W;

RC é o produto RC do sistema construtivo, em horas;

37.4 constante empírica da equação que representa um fator de proporcionalidade entre o coeficiente global de transmissão térmica da envolvente, UE, e o produto RC do sistema construtivo, expresso em W/m²°C.

A contribuição da radiação solar sobre a amplitude da temperatura do ar interior se traduz em um suplemento de temperatura adicionado à amplitude da temperatura do ar interior na ausência de radiação solar. A magnitude deste efeito é amortecida em fun-

Fig. 6
Relação AI/Ae na ausência de radiação solar

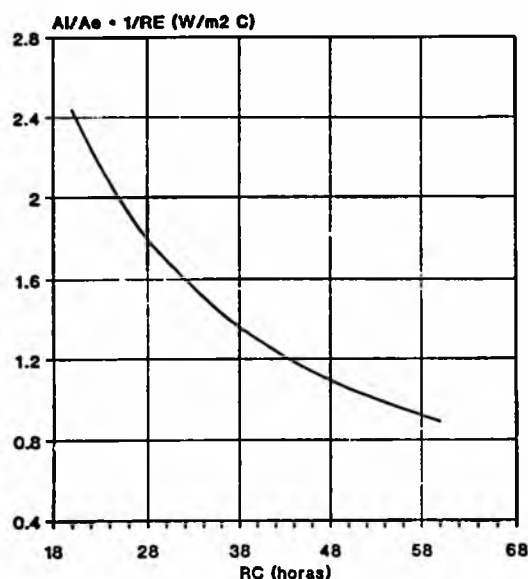


Fig. 7
Dmed' para ambiente sem abertura

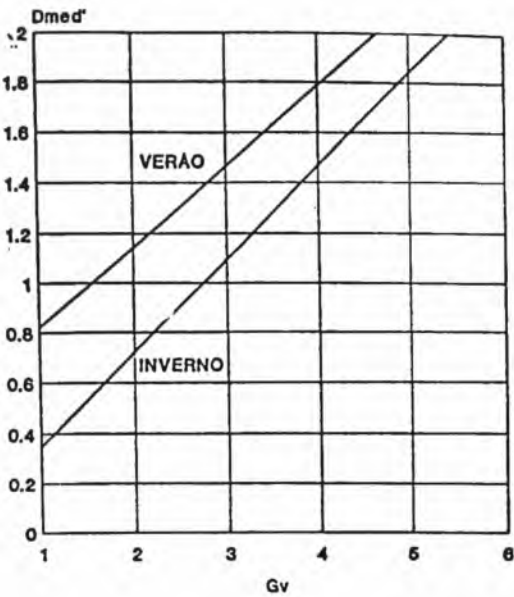


Fig. 8
Constante K – valores para inverno e verão

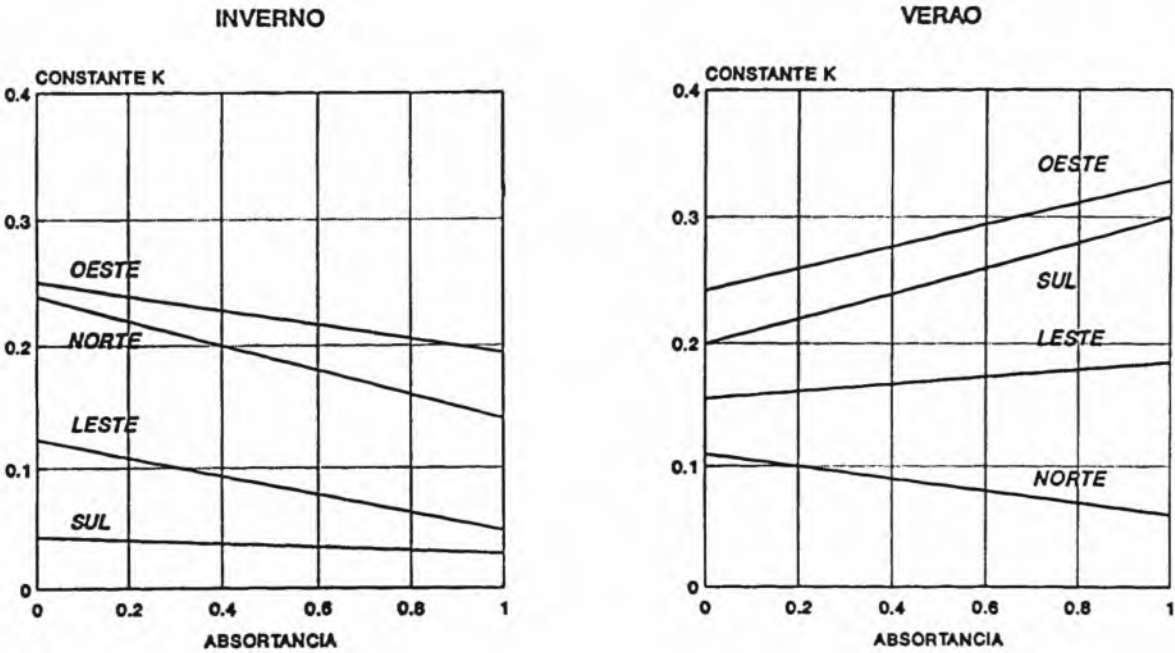
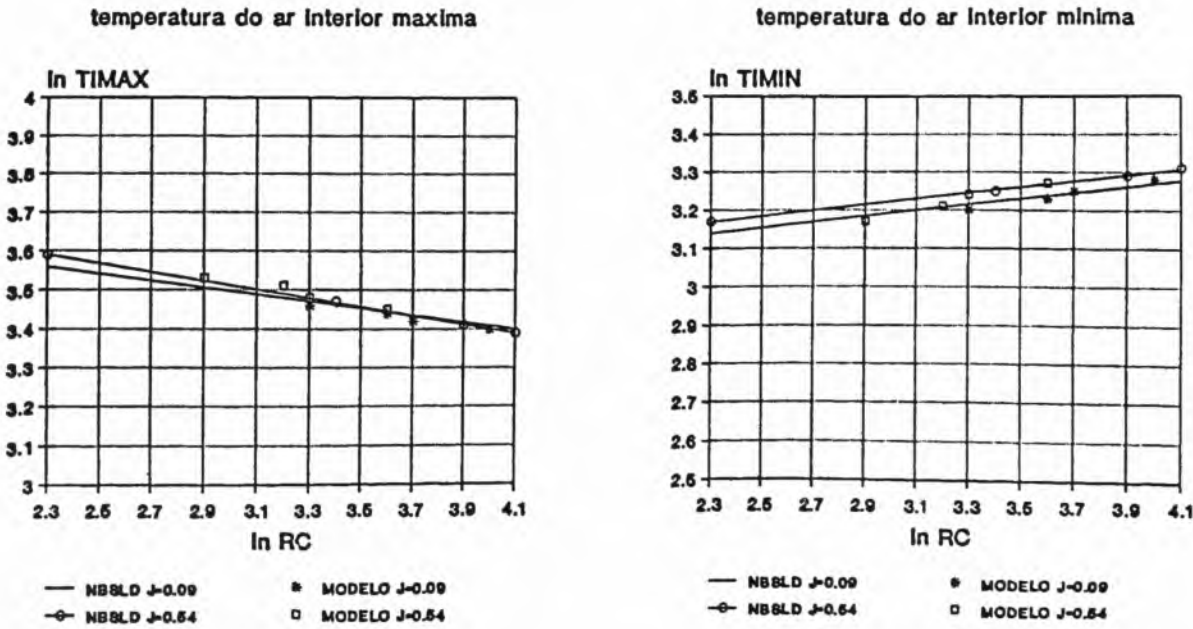


Fig. 9
Norte verão – Comparação entre os resultados obtidos com o NBSLD e os obtidos com aplicação do modelo simplificado



ção do coeficiente m de amortecimento que depende das características térmicas do sistema construtivo, representadas pelo produto RC.

A amplitude final da temperatura do ar interior, Ai , se expressa da seguinte forma:

$$Ai = ai + m\text{SUPLE } (^\circ\text{C})$$

sendo que:

$$m = e^{-\sqrt{0.1308 \cdot RC}}$$

SUPLE, é o valor do suplemento de temperatura sobre a amplitude ai , calculada admitindo-se ausência de radiação solar, é dado pela expressão

$$\text{SUPLE} = RE (Rm \cdot F \cdot J) + \sum \frac{ABS \cdot Rm}{he} \cdot P$$

Na expressão de SUPLE, o primeiro termo representa a contribuição da incidência de radiação sobre as superfícies transparentes da envolvente, e, o segundo, a contribuição da incidência de radiação solar sobre as superfícies opacas da envolvente, sendo que Rm representa o valor médio em 24 horas da radiação solar que incide sobre cada superfície. O termo P representa a relação entre a área de superfícies opacas (Apa) e a área de piso (AP).

Cálculo da diferença entre as temperaturas médias (TIMED – TEMED)

Admite-se que a diferença (TIMED – TEMED) é o resultado da adição de duas parcelas. Na primeira, a diferença entre as temperaturas médias é calculada para um ambiente fictício sem aberturas, com as mesmas características dimensionais e térmicas do ambiente real. A segunda parcela representa a contribuição da incidência de radiação solar sobre as superfícies transparentes.

$$\text{TIMED} - \text{TEMED} = Dmed' + k [RE (Rm \cdot F \cdot J)] (^\circ\text{C})$$

O termo $Dmed'$ independe das características térmicas do sistema construtivo e é função do fator de ganho solar Gv , das superfícies opacas verticais expostas à radiação solar, dado pela expressão

$$Gv = \sum \frac{ABS \cdot Rm}{he}$$

A figura 7 mostra a correlação entre o fator Gv e a diferença $Dmed'$ para um ambiente sem aberturas.

No segundo termo, a constante empírica k é função do coeficiente de absorvância médio da envolvente e da condição de exposição. A figura 8 dá os valores da correlação entre a constante k e o coeficiente de absorvância ABS.

Análise comparativa entre o modelo simplificado proposto e o programa NBSLD

Os procedimentos simplificados foram aplicados aos quatro sistemas construtivos analisados, para a condição de verão e inverno, considerando o ambiente com paredes exteriores em cor clara, e relação J de 0.09 e 0.54. A figura 9 ilustra os resultados obtidos para o verão, com superfície envidraçada orientada para Norte, comparados aos resultados obtidos com as simulações realizadas com o NBSLD. Observa-se que o ajuste entre os dois modelos é bastante satisfatório, uma vez que os erros apresentados são desprezíveis.

Considerações Finais

A aplicação do modelo proposto apresenta algumas limitações em decorrência do fato de que, para sua formulação, foram admitidos como reais dados obtidos em simulações. No entanto, tais limitações não o invalidam enquanto objeto de investigação, a ser aprofundado através da obtenção de dados empíricos que subsidiem seu ajuste.

Referências Bibliográficas

- FAIST, A. Design aids: present and future. In: SIXTH INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE, 1988, Porto/Portugal. *Proceedings...* Oxford: Pergamon Press, 1988.
- GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. London, Elsevier, 1969.
- KUSUDA, T. *NBSLD, the computer program for heating and cooling loads in buildings*. Washington, D. C. National Bureau of Standards, 1976.
- LOUREIRO, C. Incidência de variáveis de projeto sobre o desempenho térmico de habitações de interesse social no Estado de Pernambuco. São Paulo, 1990. Diss. (mestr.) – USP, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
- VAN STRAATEN, J. F. *Thermal performance of buildings*. London, Elsevier, 1967.