



ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E DOS DESEMPENHOS TÉRMICOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Mônica Maria Fernandes de Oliveira (1); Virgínia Maria Dantas de Araújo (2); Aldomar Pedrini (3); George Santos Marinho (4)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Depto. de Arquitetura, (1)monicamfl@ufrnet.br
(2) virginia@ufrnet.br, (3) apedrini@ufrnet.br, (4) Depto. de Engenharia Mecânica, Natal – RN - Brasil – 59072-970, telefax: (84)215-3768, gmarinho@ct.ufrn.br

RESUMO

O aproveitamento de resíduos na Construção Civil vem se intensificando nos últimos anos. Isso se deve basicamente aos fatores econômico, viabilidade técnica e, principalmente devido a fatores de preservação ambiental. O conhecimento de parâmetros de desempenho térmico é imprescindível à análise de sistemas construtivos alternativos, que visem promover a economia de gastos com energia destinada à obtenção de conforto térmico nos espaços construídos. No presente trabalho, realizou-se um estudo teórico para comparação do desempenho térmico de sistemas construtivos convencionais e alternativos. A primeira análise foi desenvolvida com base no Projeto de Norma No. 02:135. 07-003 (ABNT, 2003) para avaliação de desempenho térmico de edificações. Os parâmetros considerados na análise foram: transmitância térmica, atraso térmico, capacidade térmica e fator de ganho solar de elementos e componentes de edificações. Os elementos convencionais considerados foram: bloco de cimento “Portland”, placas de concreto com câmara de ar, alvenaria de tijolo cerâmico de seis furos e alvenaria de tijolo maciço; os elementos alternativos considerados foram: bloco de concreto leve, bloco de concreto celular e blocos de solo-cimento com fibras vegetais. A segunda análise consistiu da modelagem dos sistemas construtivos no VisualDOE 3.1, e simulação para cinco diferentes climas relacionados a cinco zonas bioclimáticas. Os resultados são analisados considerando a frequência de temperaturas internas, com base na definição da zona de conforto, pelo método adaptativo.

ABSTRACT

This paper compares the thermal performance of twelve conventional and alternative types of wall construction systems. The methodology adopts two approaches. The first one is based on the recently proposal of regulation of dwellings thermal performance for Brazilian bioclimatic zones: “Projeto de Norma No. 02:135. 07-003”. The thermal proprieties such as thermal transmittance, thermal capacity, thermal delay and solar heat factor are assessed and classified in according with the proposal. The second approach consists of modelling and simulation of a dwelling prototype with the VisualDOE program. The simulations are executed for five bioclimatic zones with base on five TRY climates: Curitiba/PR, Florianópolis/SC, Brasília/DF, Caicó/RN e Natal/RN. The results are assessed in terms of internal temperature frequency, using principles of adaptative thermal comfort.

1 INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento do Projeto CT ENERG 2001 “Sistemas Construtivos Alternativos Para Redução do Consumo de Energia Elétrica na Climatização de Ambientes construídos”, as equipes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Universidade Federal do Piauí (UFPI) pesquisaram materiais alternativos para uso como agregado em elementos construtivos. Foram selecionados seis tipos de resíduos – três vegetais e quatro das indústrias de pneus, calçados, botões e embalagens – que foram utilizados como agregados na fabricação de blocos construtivos (Marinho, 2003). A partir das propriedades termofísicas medidas durante a pesquisa, este artigo apresenta uma avaliação desses e de outros materiais construtivos com base no Projeto 02:135.07-001/3 “Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social” (ABNT, 2003), no Projeto 02:135.07-001/2 “Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações” (ABNT, 2003), e compara o desempenho térmico através de simulações de um modelo hipotético no VisualDOE3 (Eley Associates, 2000).

2 MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Os materiais construtivos alternativos são o solo-cimento com 10% de fibra vegetal, com as opções de fibras de coco, curauá e sisal, e o solo-cimento com 10% de resina de poliéster (bonor), que é um resíduo do processo de fabricação do botão. Os demais sistemas construtivos comparados são o tijolo maciço, o bloco de concreto, o tijolo cerâmico, as placas de concreto, o concreto leve, o concreto celular com gesso e o concreto celular. O concreto leve estudado consiste em um “sanduíche” de concreto com agregado de flocos de EPS (poliestireno expandido) de 3,0 cm e uma camada de 4,0 cm de EPS como recheio.

Com relação ao concreto leve, no Projeto CT ENERG 2001 foi feita uma avaliação do desempenho térmico de algumas paredes de alvenaria onde ficou constatado que “é viável empregar-se o EPS como material constituinte da mistura para concreto, com a finalidade de fabricar alvenaria de vedação capaz de comportar-se também como isolante térmico entre o meio externo e o interior da edificação”.(Bezerra, 2003).

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam as propriedades termofísicas dos sistemas analisados, onde se pode perceber que os sistemas construtivos alternativos de solo-cimento com adição de fibras apresentaram as menores densidades e conseqüentemente as menores condutividades térmicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Características dos sistemas construtivos constituídos de solo-cimento.

Sistemas construtivos	densidade (ρ) (kg/m ³)	condutividade (λ) (W/m.K)	calor específico (c) (kJ/kg.K)
Solo-cimento c/ fibra de coco	1650	0,63	0,83
Solo-cimento c/fibra de curauá	1720	0.63	0,80
Solo-cimento c/ fibra de sisal	1687	0,66	0,81
Solo-cimento - padrão	1824	1,11	0,79
Solo-cimento c/ bonor	2042	0,89	0,74

Tabela 2 - Características dos sistemas construtivos constituídos de tijolo cerâmico.

Sistemas construtivos	densidade (ρ) (kg/m ³)	condutividade (λ) (W/m.K)	calor específico (c) (kJ/kg.K)
Tijolo maciço rebocado	1600 - tijolo	0,90 - tijolo	0,92 - tijolo
	2000 - reboco	1,15 - reboco	1,00 - reboco
Tijolo cerâmico 06 furos	1600 - tijolo	0,90 - tijolo	0,92 - tijolo
	2000 - reboco	1,15 - reboco	1,00 - reboco

Com relação aos sistemas construtivos alternativos de concreto, como mostra a Tabela 3, o concreto leve apesar de possuir uma densidade menor do que a do concreto celular apresenta menor condutividade térmica. Isto ocorre devido ao fato do calor específico do concreto leve ser 44,81% maior.

Tabela 3 - Características dos sistemas construtivos constituídos de concreto.

Sistemas construtivos	densidade (ρ) (kg/m ³)	condutividade (λ) (W/m.K)	calor específico (c) (kJ/kg.K)
Bloco de concreto colado s/ reboco	2400	1,75	1,00
Placas de concreto c/ câmara de ar	2400	1,75	1,00
Concreto leve	1438	0,88	1,83
Concreto celular c/ gesso	1600	0,50 – concreto	1,01
		0,70 – gesso	
Concreto celular	1600	0,50	1,01

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas. Na primeira foi feita à análise das propriedades térmicas dos sistemas construtivos, onde foram calculadas com base no Projeto de Norma N° 02:135.07-003 “Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações” (ABNT, 2003). Na segunda e na terceira etapas, foi levado em consideração o segundo capítulo do referido Projeto de Norma, “Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”, para se classificar os sistemas construtivos analisados e verificar em quais zonas bioclimáticas brasileiras estes se adequam. E na terceira foram feitas simulações de um protótipo com as várias configurações construtivas para cinco cidades correspondentes a cinco zonas bioclimáticas do Projeto de Norma: Curitiba/PR, Florianópolis/SC, Brasília/DF, Caicó/RN e Natal/RN, que correspondem, respectivamente, às zonas bioclimáticas 1, 3, 4, 7 e 8. A escolha das cidades se deve à disponibilidade dos arquivos climáticos horários compatíveis com o programa VisualDOE 3.1. Com exceção das simulações de Caicó, que empregou o ano climático de 2003, as demais simulações empregaram o ano climático do tipo TRY (Goulart, Lamberts *et al.*, 1998).

3.1 Classificação dos sistemas construtivos

Segundo os critérios da ABNT (2003), os sistemas construtivos podem ser classificados em leves, leves refletoras e pesados (Tabela 4) e assim podem ser associados com as zonas bioclimáticas brasileiras e com cidades (Tabela 5).

Tabela 4 - Transmitância, atraso e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa (ABNT, 2003).

sistema	classificação	transmitância térmica (W/m ² .K)	atraso térmico	fator solar
paredes	leve	$U \leq 3,00$	$f \leq 4,3$	$FS \leq 5,0$
	leve refletora	$U \leq 3,60$	$f \leq 4,3$	$FS \leq 4,0$
	pesada	$U \leq 2,20$	$f \geq 6,5$	$FS \leq 3,5$

Tabela 5- Classificação dos sistemas construtivos.

sistemas construtivos	classificação	zonas bioc.	cidades correspondentes
solo-cimento c/ fibra de coco	leve refletora	3,5 e 8	Florianópolis e Natal
solo-cimento c/fibra de curauá	leve refletora	3,5 e 8	Florianópolis e Natal
solo-cimento c/ fibra de sisal	leve refletora	3,5 e 8	Florianópolis e Natal
solo-cimento - padrão	pesada	4, 6 e 7	Brasília e Caicó
solo-cimento c/ (bonor)	pesada	4, 6 e 7	Brasília e Caicó
tijolo maciço rebocado	leve refletora	3,5 e 8	Florianópolis e Natal
bloco de concreto colado s/ reboco	leve refletora	1,2,3,5 e 8	Florianópolis, Curitiba e Natal
tijolo 06 furos rebocado	leve e/ou leve refletora	1,2,3,5 e 8	Florianópolis, Curitiba e Natal
placas de conc. c/ câmara de ar	leve e/ou leve refletora	1,2,3,5 e 8	Florianópolis, Curitiba e Natal
concreto leve	pesada	4,6 e 7	Brasília e Caicó
concreto celular c/ gesso	leve refletora	3,5 e 8	Florianópolis e Natal
concreto celular	leve refletora	3,5 e 8	Florianópolis e Natal

3.2 Simulação de desempenho térmico

As simulações adotam um modelo de casa popular, a qual é simulada com diferentes configurações de paredes, que correspondem às alternativas de sistemas construtivos. O programa escolhido é o VisualDOE 3.1 e o ambiente analisado corresponde ao quarto "A" do protótipo da Figura 1e apresenta as seguintes características:

- envoltória: piso em contato com o solo ($U=1,17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), cobertura com isolamento térmico ($U=0,83 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) e janela de 1,2m x 1,0m completamente sombreada;
- geração de calor interna: ocupação 24 horas de uma pessoa, com acionamento de uma lâmpada de 60W acionada entre 18:00 e 22:00 horas;
- infiltração de ar constante equivalente a três trocas do volume por hora, sem uso de ventilação natural.

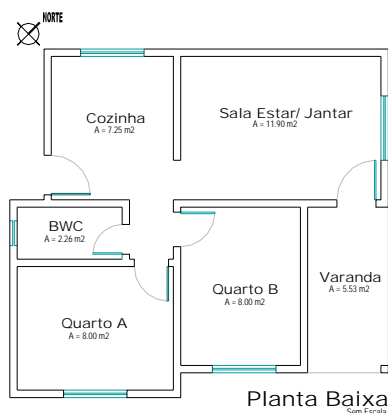


Figura 1 – Planta da casa popular analisada

(fonte: Atelier de Projeto de Arquitetura e Urbanismo/UFRN/julho de 2003.

3.2.1 Critério de análise

O desempenho dos sistemas construtivos se baseia na análise dos resultados das simulações, especificamente na frequência das temperaturas internas calculadas para as 8.760 horas do ano. São contados os números de horas de desconforto ao frio, de desconforto ao calor e de ocorrência de temperaturas máximas e mínimas.

A definição dos limites de temperatura da faixa de conforto se baseia no conforto adaptativo (Auliciems e Szokolay, 1997): calcula-se a temperatura de neutralidade para cada mês ([Eq. 01]), obtêm-se a média anual e adota-se uma variação de $\pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ como limites de conforto térmico, Tabela 6.

$$T_n = 17,6 + 0,31 * T_m \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

T_n - temperatura de neutralidade térmica

T_m - média mensal da temperatura de bulbo seco

Tabela 6 – Limites de desconforto.

zonas	idades	UF	t_n	limite de desconforto ao frio ($t_n-2.5$)	limite de desconforto ao calor ($t_n+2.5$)
1	Curitiba	PR	22,8	20,3	25,3
3	Florianópolis	SC	24,1	21,6	26,6
4	Brasília	DF	24,1	21,6	26,6
7	Caicó	RN	26,5	23,9	29,0
8	Natal	RN	25,6	23,1	28,1

4 RESULTADOS DA ANÁLISE

4.1 Resultado da análise das propriedades térmicas dos sistemas construtivos

Como mostram a Tabela 7 e a Figura 2, o sistema de solo-cimento padrão foi o que apresentou a maior transmitância térmica, maior fator solar e a menor inércia térmica, dentre os sistemas de solo-cimento. Em seguida, destaca-se o de solo-cimento com adição de 10% de bonor. Os blocos compostos por solo-cimento e fibras vegetais apresentaram o mesmo comportamento térmico. Com relação aos blocos de concreto, o concreto leve constituído por um sanduíche de concreto com flocos de EPS e recheio de EPS, com 10,0 cm de espessura, é o que apresenta uma maior resistência térmica. Este apresenta transmitância e fator solar muito baixo, porém um elevado atraso térmico. O segundo sistema com maior resistência térmica é o composto por placas de concreto com 5,0 cm de câmara de ar, com 11,0 cm de espessura. Seguindo a ordem temos os blocos de concreto celular, com 8,0 e 7,0 cm de espessura respectivamente, por último o bloco de concreto sem reboco, com 9,0 cm de espessura. Dos blocos de tijolo cerâmico, o vazado com 14,0 cm de espessura tem maior isolamento térmico quando comparado ao sistema constituído por tijolo maciço com 13,0 cm de espessura.

Tabela 7- Propriedades térmicas dos sistemas construtivos.

Sistemas construtivos	transmitância térmica U (W/m ² .K)	atraso térmico f (h)	fator solar FS (%)	dimensões (m)
Solo-cimento c/ fibra de coco	3,20	3,1	3,8	0,05 x 0,19 x 0,09
Solo-cimento c/fibra de curauá	3,20	3,1	3,8	0,05 x 0,19 x 0,09
Solo-cimento c/ fibra de sisal	3,26	3,0	3,9	0,05 x 0,19 x 0,09
Solo-cimento - padrão	3,98	2,4	4,8	0,05 x 0,19 x 0,09
Solo-cimento c/ bonor	3,69	2,7	4,4	0,05 x 0,19 x 0,09
Tijolo maciço rebocado	3,34	3,3	4,0	0,05 x 0,19 x 0,09
Tijolo de 06 furos rebocado	2,38	3,6	2,9	0,32 x 0,16 x 0,10
Bl. de conc. colado s/ reboco	3,32	1,8	4,0	0,39 x 0,19 x 0,09
Placas de conc. c/ câmara de ar	2,75	2,4	3,3	Painel c/ 0,11cm de esp.
Concreto leve	0,72	6,5	0,9	Painel c/ 0,10cm de esp.
Concreto celular c/ gesso	3,08	2,7	3,7	Painel c/ 0,08cm de esp.
Concreto celular	3,23	2,9	3,9	Painel c/ 0,07cm de esp.

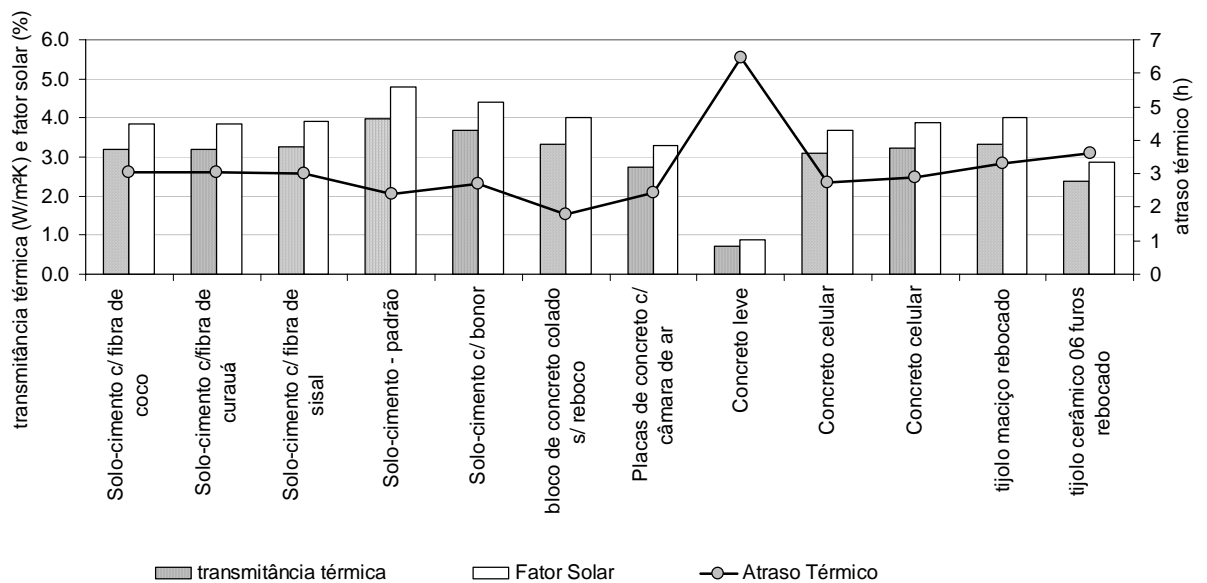


Figura 2 – Propriedades térmicas dos sistemas construtivos.

4.2 Resultados da Simulação

As análises das simulações se baseiam na comparação do desempenho do ambiente simulado com os diversos sistemas construtivos e o clima, e os critérios são o número de horas de desconforto ao frio e ao calor, e as temperaturas máximas e mínimas resultantes.

4.2.1 Clima de Curitiba/PR

O clima de Curitiba apresenta 6.631 horas de desconforto causado pelo frio, 451 horas de desconforto causado pelo calor e apenas 1.678 horas de conforto durante o ano, sendo que os sistemas construtivos não são suficientes para melhorar as condições de conforto (Figura 3). As principais diferenças correspondem ao sistema construtivo de solo-cimento padrão, com 965 horas de desconforto ao calor, e o concreto leve com 528 horas, ou seja, 131 horas a mais que o meio externo. O concreto leve também se destaca pela menor amplitude de temperaturas.

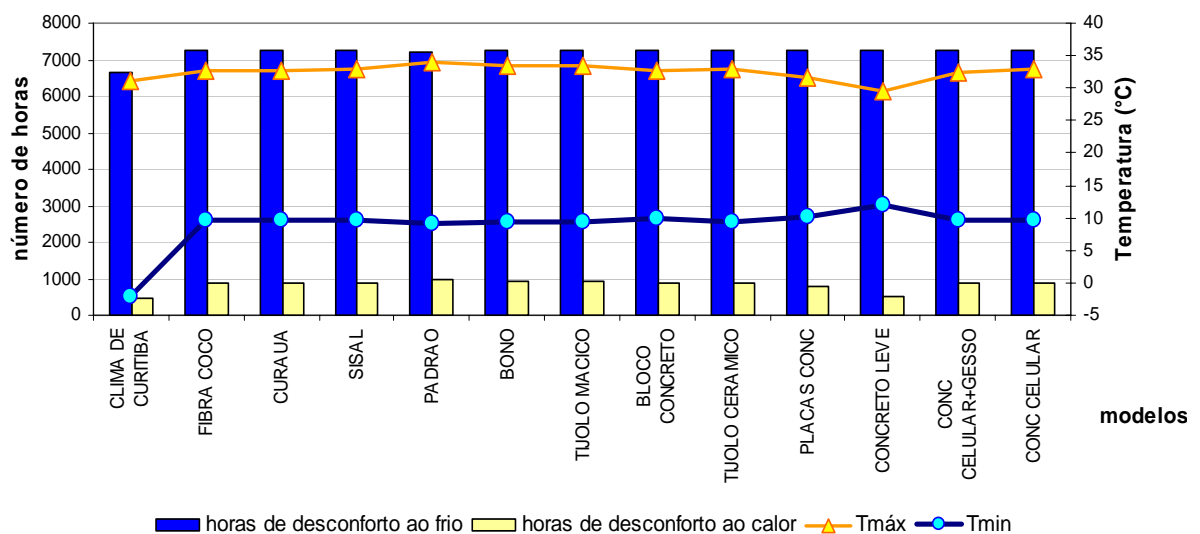


Figura 3 – Gráfico do comportamento térmico dos sistemas construtivos em Curitiba/PR

4.2.2 Clima de Florianópolis/SC

O clima de Florianópolis apresenta 5.293 horas de desconforto ao frio, 642 horas ao calor e 2.875 horas de conforto e o desempenho dos sistemas construtivos são similares (Figura 44). O concreto leve é o que apresenta as maiores diferenças em relação ao demais, com o menor número de horas de desconforto.

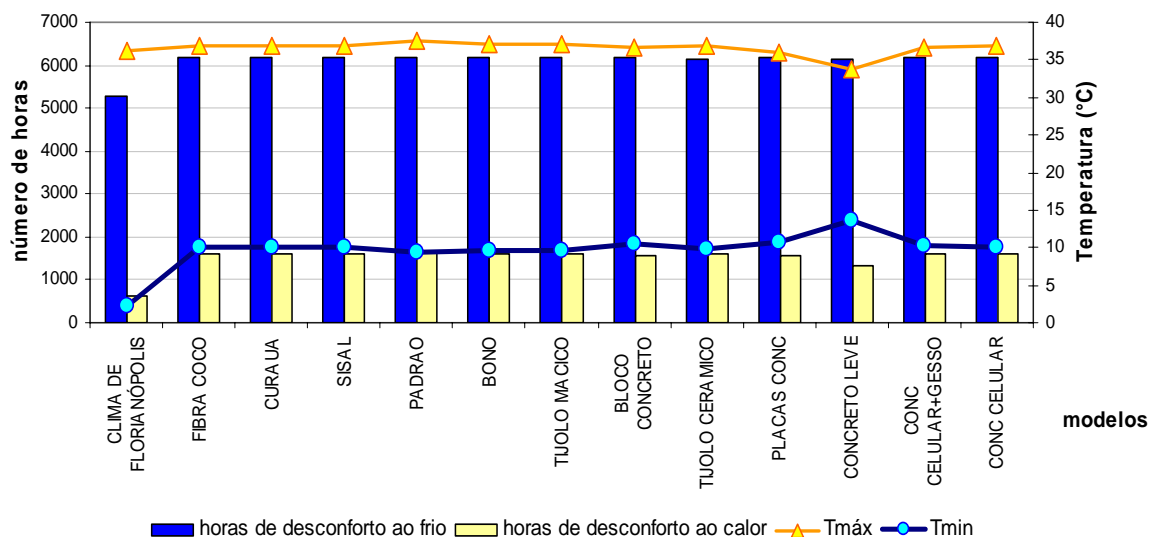


Figura 4 – Gráfico do comportamento térmico dos sistemas construtivos em Florianópolis/SC,

4.2.3 Clima de Brasília/DF

O clima de Brasília apresenta 5.518 horas de desconforto ao frio, 737 horas ao calor e 2.505 horas de conforto ao ano, enquanto que os sistemas construtivos têm desempenho muito similar (Figura 5). Destaca-se a diferença entre o número de horas de desconforto ao frio do clima e dos ambientes simulados, além do melhor desempenho do concreto leve.

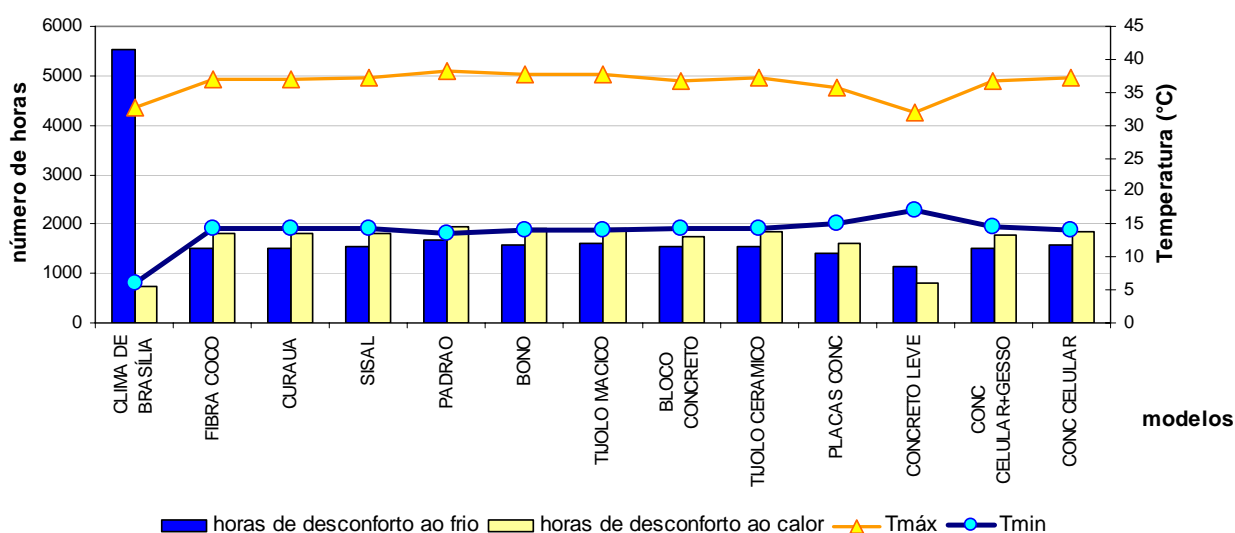


Figura 5 – Gráfico do comportamento térmico dos sistemas construtivos em Brasília/DF

4.2.4 Análise dos sistemas construtivos para o clima de Caicó/RN

O clima de Caicó apresenta 3.581 horas de desconforto ao calor, 1.227 de desconforto ao frio e 3.952 horas de conforto ao ano. Todos os sistemas apresentam um maior número de horas de desconforto ao

calor do que o clima da cidade. Nesse caso, o ambiente simulado com o concreto leve tem o pior desempenho ao calor, não apresenta horas de desconforto ao frio e sua temperatura máxima interna é a menor (Figura 6).

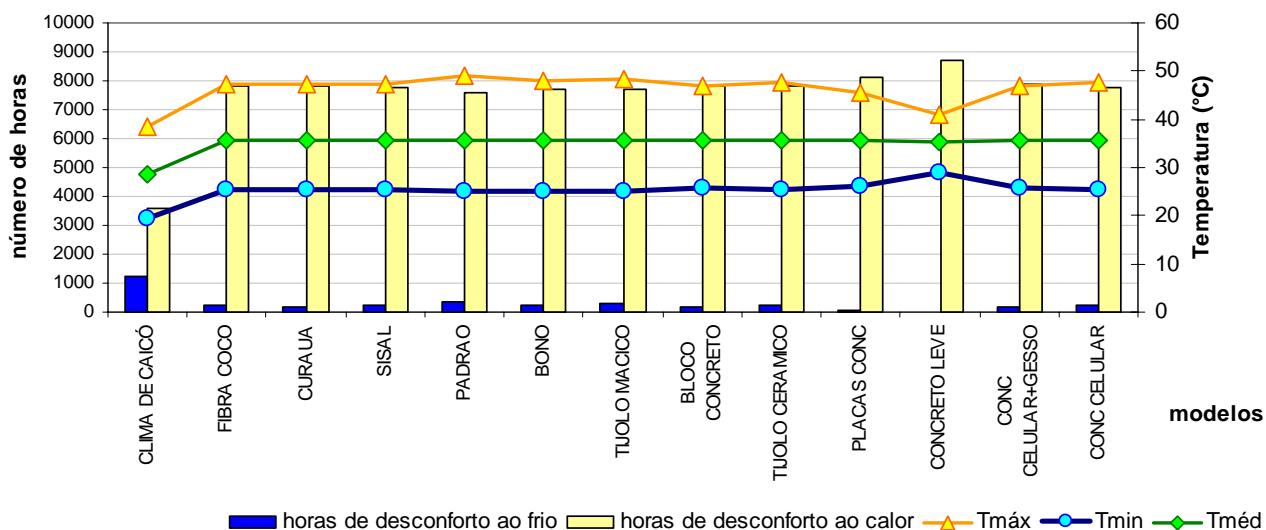


Figura 6 – Gráfico do comportamento térmico dos sistemas construtivos em Caicó/RN

4.2.5 Análise dos sistemas construtivos para o clima de Natal/RN

O clima de Natal apresenta 2042 horas de desconforto ao calor, 1560 horas de desconforto ao frio, e 5158 é horas de conforto. O desempenho dos sistemas também é similar, sendo que todos eliminam o desconforto ao frio, porém apresentam o dobro de horas de desconforto ao calor do que o exterior (Figura 7). O concreto leve se destaca pela menor amplitude e apresenta a menor diferença entre a temperatura máxima e a mínima.

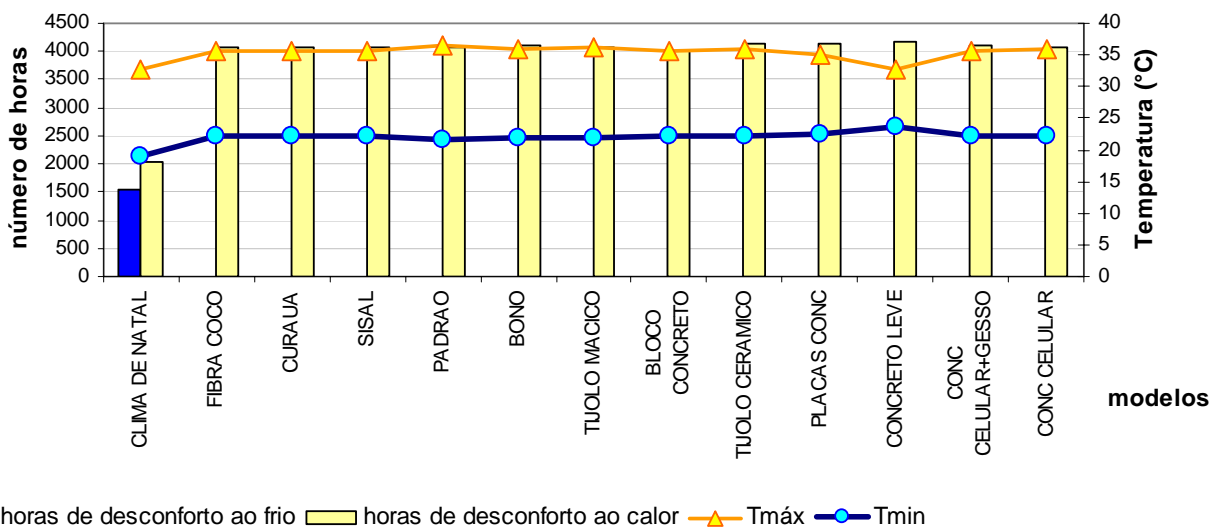


Figura 7 - Comportamento térmico dos sistemas construtivos em Natal/RN

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Segundo os critérios da ABNT (2003), as paredes leves e/ou leves refletoras são adequadas ao clima de Florianópolis/SC (zona 3) e do Natal/RN (zona 8), ou seja, os blocos de solo-cimento com 10 % de fibra vegetal, os blocos cerâmicos e todos os de concreto. Apenas o concreto leve é classificado como parede pesada. O sistema adequado às cidades de Brasília/DF (zona 4) e Caicó/RN (zona 7) é o

concreto leve. Os sistemas adequados para Curitiba/PR (zona 1) são: tijolo cerâmico 06 furos rebocado e placas de concreto com câmara de ar, por serem classificados como paredes leves. A metodologia proposta pela ABNT (2003) é simples e pode se tornar mais prática à medida que forem desenvolvidos programas ou planilhas eletrônicas para agilizar os cálculos e desenvolver uma biblioteca de materiais.

Os resultados das simulações dos sistemas construtivos indicam pequenas diferenças de desempenho e por isso não são suficientes para confirmar as recomendações prescritas na ABNT (2003). Embora o programa VisualDOE3 apresente limitações para a simulação de sistemas passivos como o protótipo modelado, seus resultados foram mais convincentes do que estudos prévios com o programa Ecotect (Marsh, 2003). Entretanto, seriam necessários mais estudos para avaliar essas limitações e o impacto dessa abordagem. Como os resultados são específicos para os modelos simulados, estima-se que poderiam ser produzidos modelos mais sensíveis às alternativas de sistemas construtivos, embora o modelo pode se tornar menos representativo. Algumas das variáveis também podem ser questionadas, entretanto é necessário desenvolver mais pesquisas sobre o tema.

Como estratégia bioclimática isolada, ainda que o sistema construtivo das paredes de uma envoltória atenda o Projeto de Norma No. 02:135. 07-003, não é suficiente para garantir condições de conforto interno. Certamente é necessário associá-lo com as outras estratégias sugeridas pelo Projeto de Norma e garantir que o protótipo analisado seja representativo.

Pretende-se continuar o estudo da adequação da casa popular com a investigação das recomendações para os sistemas de coberturas e das aberturas indicadas para cada uma das cidades analisadas.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da ELETROBRÁS e do CNPq.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Projeto 02:135.07-001/2. Rio de Janeiro: ABNT: 7 p. 2003.
- ABNT. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Projeto 02:135.07-001/3. Rio de Janeiro: ABNT: 7 p. 2003.
- Auliciems, A. e S. V. Szokolay. Thermal comfort. Brisbane, Qld.: PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture The University of Queensland. 1997. 64 p. (PLEA notes; note 3.)
- Bezerra, L. A. C. Reaproveitamento de Resíduos de EPS como Agregado de Bloco Construtivo. 1º Inter American Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in the Eco-Construction and Infrastructure. João Pessoa, Pb: Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais. 13-16/112003, 2003. 68 p.
- Eley Associates. VisualDOE 3. San Francisco, CA USA 2000.
- Goulart, S. V. G., R. Lamberts, *et al.* Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC. 1998
- Marinho, G. S. Simpósio de desempenho térmico de sistemas construtivos alternativos. Natal. 06-08/agosto/2003, 2003. p.
- Marsh, A. Ecotect. Perth: Square One Research PTY LTD 2003.