



AVALIAÇÃO TÉRMICA DE HABITAÇÃO POPULAR ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO PARÂMETRO DE PROJETO ARQUITETÔNICO: ESTUDO DE CASO NA VILA TECNOLÓGICA DE CURITIBA

KRÜGER, Eduardo L. (1); MICHALOSKI, Ariel O.(2)

(1) Eng. Civil, Dr.-Ing., Prof. do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia,
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR -Av. Sete de Setembro, 3165 CEP
80230-901 Curitiba - PR. E-Mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Eng. Civil, Mestrando do PPGTE, Prof. Departamento de Desenho Industrial – CEFET-PR - Ponta
Grossa - Av. Monteiro Lobato, km 4, CEP 84016-210 Ponta Grossa - PR. e-mail:
ariel@interponta.com.br

RESUMO

Atualmente, projetos de edificações, desde o seu planejamento até a execução, são realizados muitas vezes por profissionais que carecem de um conhecimento do contexto físico e climático no qual irão atuar. Entretanto, a solução não pode ser limitada apenas ao uso de padrões habitacionais, em função das mudanças ocorridas nos últimos anos, quer por transformações sociais, quer por modificações dos materiais e técnicas construtivas.

A avaliação de habitações para a população de baixa renda deve envolver diversos aspectos relacionados à localização da edificação passando pela execução até a avaliação pós-ocupação. Em climas tropicais, estas avaliações deveriam estar diretamente relacionadas às condições de conforto térmico no ambiente construído. Entretanto, visando ao aspecto econômico, as melhorias nas condições de conforto térmico não devem resultar em aumentos substanciais no custo final do empreendimento.

Neste trabalho, procedeu-se uma avaliação de desempenho térmico de habitações localizadas na Vila Tecnológica de Curitiba, partindo-se de medições *in situ*. Os resultados das medições foram comparados a um modelo de simulação, utilizando-se o software francês COMFIE, sendo feito os necessários ajustes a este. Após esta etapa, pode-se avaliar três habitações existentes de forma mais abrangente, considerando-se o ano estatístico (TRY) de Curitiba.

Palavras-Chave: Simulação Computacional, Desempenho Térmico, Habitação Social

1. INTRODUÇÃO

Atualmente diversos projetos de edificações desde o seu planejamento até a execução são realizados por profissionais que carecem de um conhecimento do contexto físico e climático no qual devem atuar. Entretanto, a solução não pode ser limitada apenas ao uso de padrões habitacionais, em função das mudanças ocorridas nos últimos anos, quer pelas transformações sociais, quer por modificações nos materiais de construção.

Ao se verificar a qualidade dos projetos executados pelos programas habitacionais existentes para habitação popular, é fato reconhecido pelos profissionais que se preocupam com a habitação social

que, em geral, a moradia da população de baixa renda no Brasil apresenta sérios problemas de falta de conforto térmico (LABAKI & KOWALTOVSKI, 1995).

A metodologia de avaliações de projetos institucionais de habitação popular tem como objetivo a busca de soluções eficientes para um dos maiores problemas atuais brasileiros: o enorme déficit habitacional de aproximadamente 5,6 milhões (PRADO & PELIN, 1993) – agravado pelo crescimento acelerado da população de baixa renda nos grandes centros urbanos.

Com o objetivo de desenvolver padrões que promovam edificações adequadas ao clima, projetos tais como o de Normalização em Conforto Ambiental (RORIZ et alii, UFSC, 1998) vêm sendo desenvolvidos no Brasil. O presente trabalho visa subsidiar o referido projeto, verificando in situ diferentes tipologias, ajustando ou corroborando os limites fixados na Norma de Conforto para habitação de interesse social. Para tanto, tomou-se como objeto de estudo as moradias existentes na Vila Tecnológica de Curitiba.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa, adotou-se o seguinte procedimento:

1. Escolha dos sistemas construtivos para avaliação térmica;
2. Definição dos períodos de análise;
3. Medição de temperatura nas moradias;
4. Modelagem das moradias para simulação de desempenho térmico com o software francês COMFIE com os dados climáticos reais;
5. Simulação com o ano estatístico (TRY).

3. A VILA TECNOLÓGICA DE CURITIBA

A Vila Tecnológica de Curitiba, inaugurada em maio de 1994, consta de 120 casas, 100 habitadas por famílias de baixa renda e mais 20 casas na Rua das Tecnologias para visitação pública, constituída de diferentes materiais e sistemas construtivos. Ao todo, foram realizadas medições de temperatura em 18 moradias efetivamente habitadas e de sistemas construtivos diferenciados.

Na Tabela 1, estão listadas as edificações que fizeram parte desta avaliação.

Tab. 1: Edificações Avaliadas

Tipologia Construtiva	Construtora Responsável	Descrição Sumária das Tipologias	Área m ²
Madeira industrializada	Kürten Madeiras	Paredes constituídas com painéis de madeira tratadas por sistema auto clave (vácuo pressão), de pinnus de 22 x 80 mm, estruturados em montantes de 40 x 70 mm, com sistema de encaixe tipo macho e fêmea; cobertura em duas águas, composta de tesouras em madeira de pinnus com telha cerâmica tipo francesa com 1,3 cm; forro de madeira com 1 cm; piso de concreto alisado sobre lastro de concreto de 5 cm; janelas basculantes de ferro tipo cantoneira com 2 cm de espessura do vidro.	42,08
Blocos de Concreto	Castellamare	Paredes executadas com blocos de concreto (autoportantes) com dimensões de 12 x 39 x 19 cm, assentados com argamassa; cobertura em duas águas, composta de tesouras de madeira de pinnus com telha de fibrocimento de 5 mm; forro de madeira com 1 cm de espessura; piso de concreto alisado sobre lastro de concreto de 5 cm de espessura; janelas basculantes de ferro tipo cantoneira com 2 cm de espessura do vidro.	39,50

Painéis de Madeira com Chapas de Revestimento “Harblock” e Impermeabilização Epóxi	Epotec	Paredes executadas com chapas de madeira as quais são tratadas e coladas com epóxi, perfazendo 4,8 a 6,4 mm, sendo a parte interna dos casulos da grelha preenchidos com mantas de lã de vidro ou isopor, sobre a face externa dos painéis é aplicado revestimento de argamassa epóxi; cobertura em duas águas, composta de tesouras de madeira de pinnus com telha cerâmica tipo francesa de 1,3 cm; forro de madeira com 1 cm de espessura; piso de concreto alisado sobre lastro de concreto de 5 cm de espessura; janelas basculantes e de correr de ferro tipo cantoneira com 2 cm de espessura do vidro.	84,21
--	--------	--	-------

4. LEVANTAMENTO DE DADOS IN SITU DAS HABITAÇÕES

As avaliações das condições térmicas das habitações foram realizadas as com medições de temperatura no próprio ambiente. Foram feitas visitas exploratórias nas edificações em questão e entrevistas com os moradores, observados os padrões de uso e levantados detalhamentos e alterações não constantes do projeto arquitetônico original.

As medições foram efetuadas com data-loggers do tipo HOBO e abrangearam os seguintes períodos: de 09/07 a 03/08/2000 (inverno) e de 12/12/2000 a 10/01/2001 (verão). Os aparelhos foram programados para medir a temperatura a cada 15 minutos, sendo os dados coletados integrados para uma hora.

5. SIMULAÇÃO DAS MORADIAS

5.1 A ferramenta de simulação

O COMFIE (*Calcul d’Ouvrages Multizones Fixe à une Interface Expert* – Cálculo de Multizonas Fixadas a uma Interface Inteligente) é um programa simplificado de simulação, desenvolvido pelo *Centre d’Energétique da École des Mines de Paris* para análise térmica de prédios multizonais. O método de cálculo do COMFIE baseia-se na análise modal, aplicada ao estudo da transferência de calor, que possibilita simular inúmeros ambientes de uma edificação ao mesmo tempo. O programa é compatível com microcomputadores IBM com ou sem co-processador aritmético, possibilitando calcular ganhos de calor, perdas de calor, ganhos solares, conforto térmico e curvas de temperaturas.

Foi usada a versão 3.3, de agosto de 1994 (PEUPORTIER & SOMMEREUX, 1994).

5.2 Dados para simulação de desempenho térmico

As simulações compreenderam duas etapas, sendo a primeira a coleta de dados e a segunda a entrada dos dados coletados para a simulação de desempenho. Os procedimentos compreendidos em ambas as etapas são detalhados em seguida.

Etapa 1:

- Obtenção dos projetos arquitetônicos da Vila Tecnológica de Curitiba junto ao INTEC – PUC/PR e COHAB/PR;
- Levantamento *in loco* das edificações executadas analisando a forma e dimensões geométricas e comparando com o projeto original, distinguindo possíveis ampliações ou reformas;
- Levantamento *in loco* da orientação solar das habitações através de bússola;
- Obtenção de dados técnicos construtivos *in loco* de espessura de parede, abertura de janelas, tipo e espessura de telhas, altura da cobertura, espessura da argamassa de acabamento interno e externo da habitação, tipo de piso;
- Instalação dos sensores de temperatura do tipo HOBO, interna e externamente;
- Levantamento do número de moradores no verão e no inverno, e dos padrões de ocupação no período semanal;
- Levantamento do padrão de uso de equipamentos (ganhos internos de calor);

- Comparação do consumo estimado em equipamentos com a fatura mensal de energia, fornecida pela concessionária (COPEL) e ajustes nos padrões de uso desses equipamentos;
- Determinação da temperatura do solo e da direção e velocidade média do vento dominante para fins de simulação (COMFIE), de acordo com as médias mensais do Ano Climático de Referência (TRY) para Curitiba;
- Coleta de dados de nebulosidade na Estação Meteorológica METAR – INFRAERO para complementação do arquivo climático referente às medições *in loco*;
- Cálculos de ventilação das edificações, usando-se dados de vento, de acordo com o Ano Climático de Referência.

Etapa 2:

- Entrada do Projeto Arquitetônico com a inserção dos dados coletados;
- Definição das composições das paredes;
- Inserção dos coeficientes de densidade, condutividade térmica, calor específico, espessura dos materiais que compõem paredes, pisos e cobertura;
- Definição das zonas;
- Lançamento dos horários de ocupação, ganhos térmicos, volume da habitação e do ático e fluxos de ventilação (troca de ar por hora);
- Simulação do modelo real, baseada no lançamento das medições coletadas *in loco* e usando arquivo climático estruturado a partir dos dados medidos externamente e dos dados da estação meteorológica;
- Comparação dos dados de simulação com os dados reais medidos com ajustes do modelo;
- Simulação do modelo original com o ano estatístico (TRY).

5.3 Simplificações e ajustes dos modelos de simulação

Na simulação da moradia de madeira industrializada, foram feitos ajustes nos ganhos internos distribuídos ao longo do período, porém respeitando-se o total de ganhos levantados nas entrevistas com os moradores. Na simulação de inverno, no entanto, verifica-se diferenças ainda nas curvas de temperatura (medido × simulado), possivelmente devidas à operação das aberturas de ventilação. Na simulação de verão, os ajustes se deram através da temperatura do solo que foi reduzida de 23°C (média externa no período) para 20°C.

Para simulação do sistema construtivo de blocos de concreto, considerou-se as paredes como constituídas de materiais compostos de concreto com câmara de ar. Foram calculadas as resistências térmicas equivalentes e, a partir disso, definidos os valores da condutividade térmica, calor específico e densidade. Os ajustes foram feitos através da consideração de uma camada de 1 metro de solo abaixo do piso, o que aumentou a inércia térmica deste elemento.

Na simulação do sistema construtivo de chapas de madeira com o interior de lã de vidro ou isopor, revestido externamente com epóxi, foram efetuados ajustes nos ganhos internos respeitando-se os dados obtidos nas entrevistas com os moradores. Na simulação, por questões arquitetônicas, houve a modelagem do dispositivo de sombreamento aplicado na parede através de beiral e atribuição da absorção externa da parede como sendo nula, pois esta recebe sombreamento total em virtude da edificação possuir cobertura de garagem em toda a sua extensão.

5.4 Comparação entre os dados de medição e os resultantes da simulação

A comparação dos dados simulados e medidos foi feita considerando-se: 1) os coeficientes de correlação (R) e determinação (R^2) para as três séries de dados e 2) os graus de conforto em horas, dentro ou fora da zona de conforto definida por GIVONI (1992) como sendo de 18 a 29°C, para países em desenvolvimento.

Na Tabela 2, está apresentada a comparação estatística, na Tabela 3, a comparação em termos de horas de conforto e desconforto e, na Tabela 5, os respectivos valores externos.

Tabela 2: Comparação Estatística Medido x Simulado

TIPOLOGIA	INVERNO		VERÃO	
	R - múltiplo	R - quadrado	R - múltiplo	R - quadrado
Madeira industrializada	0,95	0,91	0,97	0,93
Blocos de Concreto	0,96	0,93	0,98	0,97
Painéis Revestidos de Madeira	0,92	0,85	0,95	0,90

Tabela 3: Comparação dos Graus de Conforto/Desconforto entre medido x simulado (em horas)

Tipologias	Período	Medido			Simulado		
		Frio	Conforto	Calor	Frio	Conforto	Calor
Madeira Industrializada	Inverno	281	8	0	281	8	0
	Verão	0	236	53	5	199	85
Blocos de Concreto	Inverno	289	0	0	289	0	0
	Verão	0	256	33	0	234	55
Painéis Revestidos de Madeira	Inverno	289	0	0	289	0	0
	Verão	2	250	37	0	246	43

Tabela 4: Graus de Conforto/Desconforto externos (em horas)

	INVERNO			VERÃO		
	Frio	Conforto	Calor	Frio	Conforto	Calor
Exterior	283	6	0	52	200	37

A comparação nos mostra que, embora os coeficientes R e R^2 possam se apresentar como significativos, poderá haver discrepâncias quanto à quantidade de horas de conforto/desconforto. A melhor situação se mostrou no caso do sistema construtivo de blocos de concreto, no inverno. De um modo geral, os coeficientes estatísticos foram satisfatórios, devendo-se as variações da Tab. 3 (entre medido e simulado) a pequenas diferenças nos limites de conforto. Nos gráficos de temperatura para os sistemas construtivos (Fig. 1 a 6), pode-se visualizar a correspondência dos modelos em relação aos dados medidos.

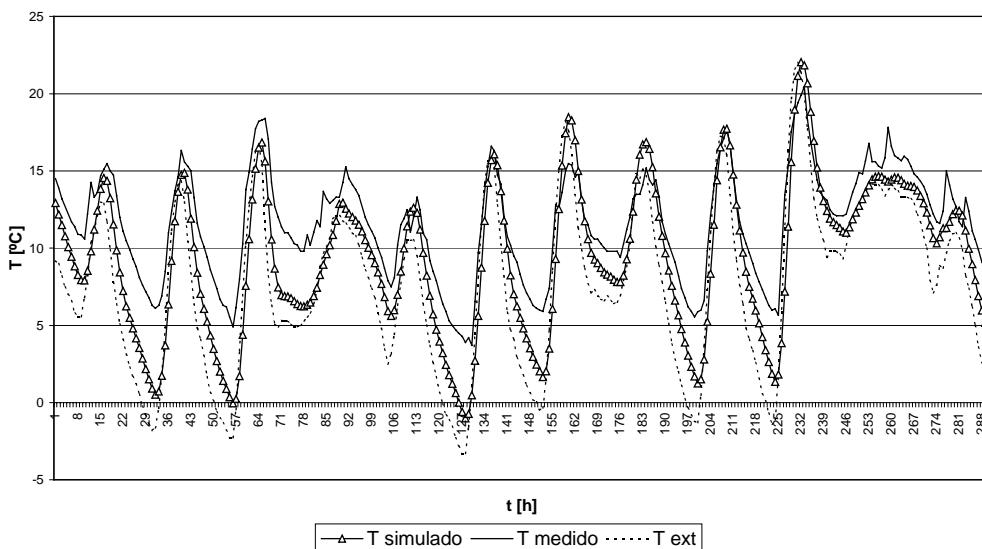


Figura 1: Curva de temperaturas para medido e simulado – madeira industrializada (inverno)

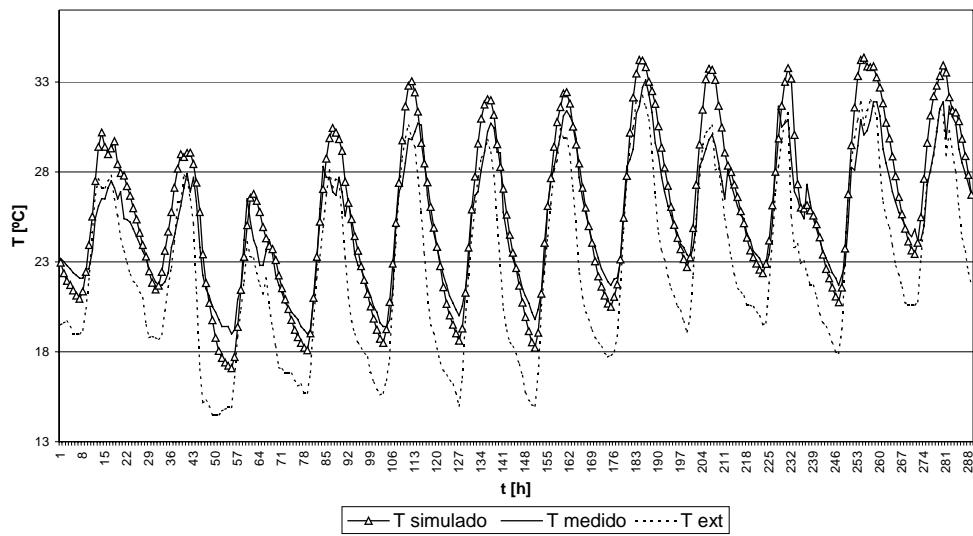


Figura 2: Curva de temperaturas para medido e simulado – madeira industrializada (verão)

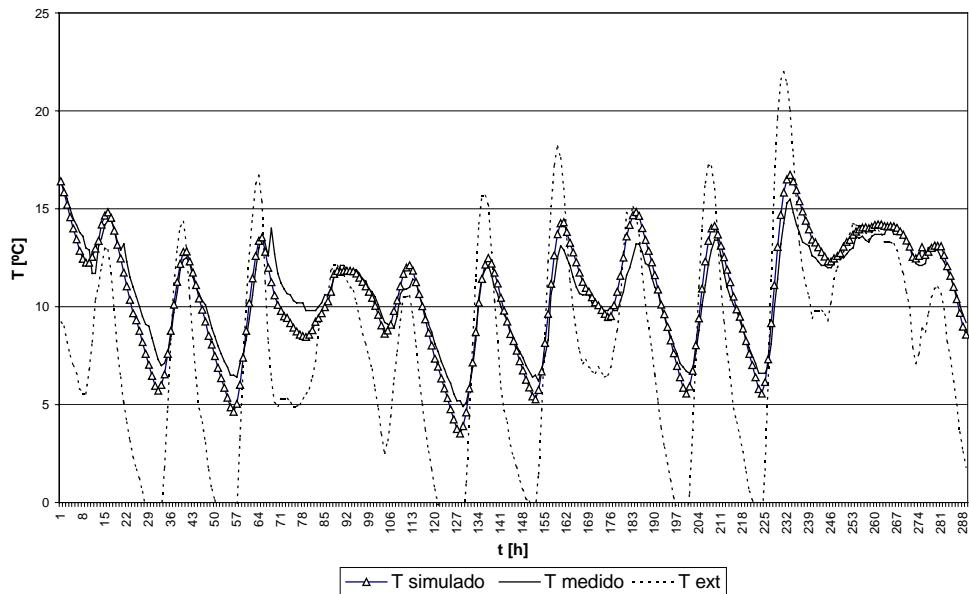


Figura 3: Curva de temperaturas para medido e simulado – blocos de concreto (inverno)

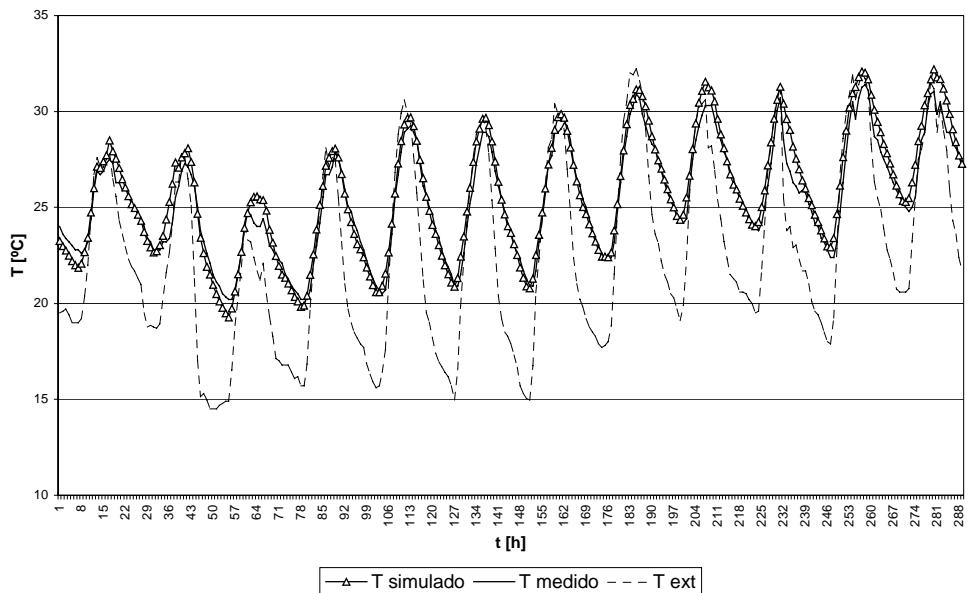


Figura 4: Curva de temperaturas para medido e simulado – blocos de concreto (verão)

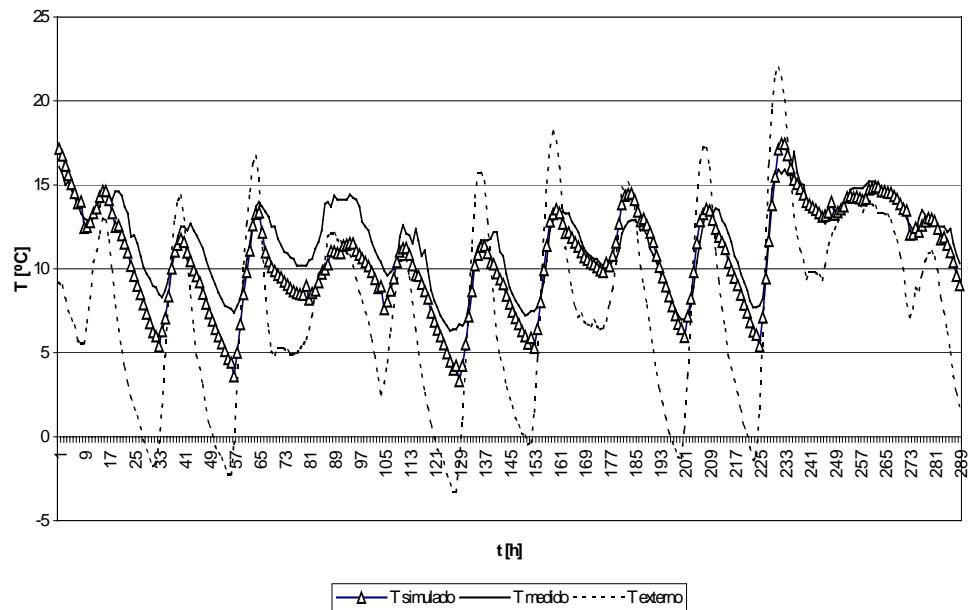


Figura 5: Curva de temperaturas para medido e simulado – Painéis Revestidos de Madeira (inverno)

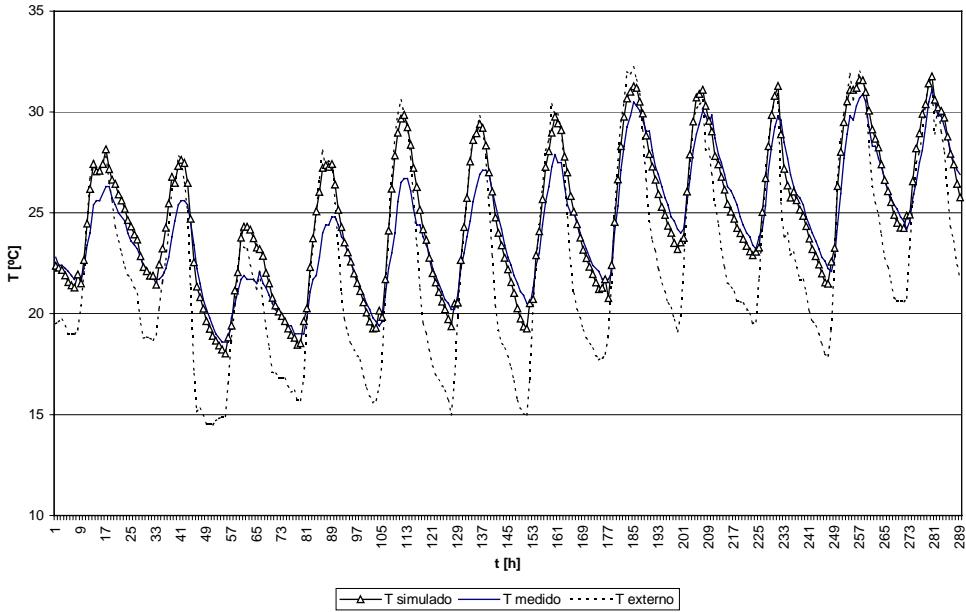


Figura 6: Curva de temperaturas para medido e simulado – Painéis Revestidos de Madeira (verão)

Uma dificuldade sempre presente no caso da modelagem de moradias habitadas é a obtenção de boa estimativa quanto aos padrões de uso da moradia. Em geral, a operação de portas e janelas e a presença de pessoas no ambiente não se apresentam de modo uniforme. Especialmente nas moradias analisadas, há presença constante de pessoas. Desta forma, pode-se observar períodos em que a curva de temperaturas medidas e a curva de temperaturas resultante de simulação se distinguem substancialmente, como é o caso das Fig. 1 e 2 (sistema construtivo de madeira).

5.5 Simulação a partir do ano estatístico (TRY)

Os resultados das simulações com o ano estatístico, o ano climático de referência (TRY) para Curitiba (GOULART *et al.*, 1998) são apresentados na Tab. 5.

Tabela 5: Resultados das Simulações com o Ano Estatístico (TRY)– Inverno e Verão (em horas)

Tipologias	Inverno			Verão		
	Frio	Conforto	Calor	Frio	Conforto	Calor
Madeira Industrializada	219	117	0	12	300	24
Blocos de Concreto	189	147	0	0	278	58
Painéis Revestidos de Madeira	174	162	0	18	318	0
Externo	241	95	0	115	219	2

Embora se trate de dados climáticos distintos dos períodos de monitoramento, pode-se verificar que, no inverno, o padrão das moradias se mostra diferenciado do da Tab. 3. Pelo fato do ano estatístico mostrar uma maior variação da temperatura (com 241 horas abaixo de 18°C e 95 horas entre 18 e 29°C), há uma maior distribuição das horas nas moradias, segundo seu desempenho. Assim, a moradia de Painéis Revestidos de Madeira, por ter isolamento térmico embutido, mostra um desempenho superior às demais. No caso do verão, o padrão também não se manteve: o sistema de Madeira Industrializada não apresentou mais horas de calor que o de Blocos de Concreto e o de Painéis Revestidos de Madeira.

Quanto às características dos materiais utilizados, o sistema de Madeira Industrializada, de menor inércia térmica, apresentou maior variação de temperaturas, tanto no inverno quanto no verão, o que

traduz uma maior distribuição de horas nas zonas de frio, conforto e calor para este sistema construtivo.

6. CONCLUSÕES

De um modo geral, considerando-se as características climáticas de Curitiba, o sistema mais indicado, de melhor desempenho térmico no período frio, é o de Painéis Revestidos de Madeira, o que vem a confirmar, em parte, a tendência tradicional de se optar por moradias de madeira no Sul do país.

A metodologia adotada apresenta vantagens pela maior confiabilidade dos modelos, elaborados e ajustados à situação real. A utilização de um ano estatístico, de maior representatividade, permite que os resultados possam ser mais facilmente generalizáveis. As dificuldades deste tipo de análise, no entanto, relacionam-se sobretudo a um bom levantamento dos padrões de uso e da ocupação das moradias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. (1998). **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis : PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC.
- KRÜGER, E.L. (2001). Estimation of relative humidity for thermal comfort assessment. In: Building Simulation Conference, 7., 2001. **Proceedings**. Rio de Janeiro : UFSC, 2001.
- LABAKI, L.; KOWALTOWSKI, D. (1995). Projeto Padrão de Conjuntos Habitacionais de Campinas e seu Conforto Térmico: Análise de Possíveis Melhorias. In: Qualidade e Tecnologia na Habitação, 1995. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995.
- PEUPORTIER, B.; SOMMEREUX, I.B. (1994). **COMFIE**: passive solar design tool for multizone buildings – User's manual. Centre d'énergétique, École des Mines de Paris, 1994.
- PRADO, E.S. e PELIN, E.R. (1993). **Moradia no Brasil**. São Paulo: CBMM/FIPE, 1993.
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. (1999). Uma proposta de norma técnica sobre desempenho térmico de habitações populares. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC.

