ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE TRÊS PROTÓTIPOS HABITACIONAIS NA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA

Emydio Silingovschi Junior
Miriam Jeronimo Barbosa
Cássio Kaminagakura
Eduardo Mesquita Cortalassi
Gustavo Campos
Jucélia Kuchla Vieira
Laércio José Guariente
Luis Ricardo Lopes
Marlon Eduardo Rodrigues
Thalita Gordan Ferreira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

RESUMO

O objetivo deste trabalho é traçar uma analise comparativa entre as diferentes características térmicas das edificações protótipo construídas na UEL com as variáveis temperatura e umidade relativa do ar interior de cada uma dessas edificações , comparando-as entre si e também com as mesmas variáveis para o ambiente externo. As edificações são constituídas de materiais diferentes portanto, possuem comportamentos diferentes sob a influências do ambiente externo. Através destas comparações pretende-se identificar as edificações que possuem melhor comportamento diante das variações de temperatura e umidade relativa para o período considerado.

Palavras chave: desempenho térmico; conforto térmico; protótipos habitacionais .

1. INTRODUÇÃO

Com a demanda cada vez maior de edificações que tenham como fator prioritário a sustentabilidade, isto é, que necessitem ou que consumam pouca energia para manter seu funcionamento, faz-se necessário o estudo de conforto térmico das edificações, de modo a torná-las confortáveis termicamente para o uso e possibilitar a economia de energia.

É possível obter grandes variações de desempenho térmico trabalhando-se com diferentes materiais na composição das edificações tais como nas paredes de vedação, lajes, forros, telhas, esquadrias, acabamento externo e interno, cores de tintas, superfícies envidraçadas, sombreamentos, brises, etc. No campus da Universidade Estadual de Londrina, próximo ao laboratório de desempenho das edificações, estão dispostas três edificações desenvolvidas para uso residencial, construídas com materiais diferentes e com arquitetura semelhante (dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro), todas orientadas no mesmo sentido com relação ao norte verdadeiro, recebendo desta maneira os mesmos níveis de insolação. Duas dessas edificações fazem parte do projeto "Casa 1.0" (Kiss 1998), baseada no trabalho de "Critérios Mínimos", que considera seis parâmetros como essenciais: desempenho estrutural, segurança ao fogo, estaqueidade à água, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade e tem como proposta desenvolver uma habitação de baixo custo e de boa qualidade, utilizando-se projetos otimizados, inteligentes, baseados em redução de custos de construção por meio de projetos racionalizados e uso de materiais e tecnologias comprovadamente eficazes. A terceira edificação foi concebida considerando as recomendações da proposta de norma do projeto LAMBERTS (1998), desempenho térmico de edificações, procedimentos para avaliação de habitação de interesse social, adequado ao clima de Londrina e adotando-se os valores de transmitância de paredes e coberturas e áreas de ventilação dentro dos limites recomendados.

Com base nas propostas de normas: LAMBERTS (1998), e no trabalho de Givoni (1992), elaborou-se este estudo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Descrição das edificações

As edificações estudadas possuem a seguinte descrição:

- *Casa de blocos de concreto*: área construída de 43,73 m² paredes compostas de bloco de concreto de 39cm comprimento por 14cm de largura por 19 cm de altura, peso específico do concreto de 2400 Kg/m³, condutividade térmica igual a 1.75 W/(m.K), calor específico de 1,00 kJ/(kg.K), com câmara de ar de emissividade alta. A parede é sem revestimento, os blocos assentados com argamassa de areia e cimento, pintura externa e interna com cor clara, laje pré-moldada de vigotas de concreto em uma direção, telhas de concreto de cor média, janelas e portas envidraçadas;
- *Casa de concreto célular :* área construída de 45,60 m², paredes monolíticas de concreto celular de espessura de 10 cm, peso específico do concreto de 1800 Kg/m³, condutividade térmica igual a 1.40 W/(m.K), calor específico de 1,00 kJ/(kg.K). A parede está sem revestimento, pintadas com cor clara, laje pré-moldada de vigotas de concreto em uma direção, telhas de concreto de cor clara, janelas envidraçadas com 50% de venezianas metálicas e portas metálicas;
- *Casa de bloco cerâmico:* área construída de 46,78 m^2 , paredes compostas de bloco cerâmico de espessura de 14 cm, peso específico do bloco cerâmico de 1300 Kg/m³, condutividade térmica igual a 0.70 W/(m.K), calor específico de 0,92 kJ/(kg.K), sem revestimento e sem pintura, assentados com argamassa de cal, areia e cimento, laje pré-moldada composta de vigotas de concreto e lajotas cerâmicas, telha de barro vermelho, janelas envidraçadas com folhas externas de madeira e portas de madeira.

2.2 Recomendações do projeto de norma de Desempenho Térmico de Edificações

O projeto de norma de Desempenho Térmico de Edificações (Lamberts, 1998), na sua parte 3 estabelece o zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social , a região de Londrina encontra-se na Zona Bioclimática 3 e portanto recomenda-se que as edificações construídas neste clima devem seguir algumas diretrizes construtivas apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3

Aberturas para ventilação (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas
Médias: 15% à 25%	Permitir o sol durante o inverno

Tabela 2: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedações externas para a Zona Bioclimática 3

Vedações externas	**Transmitância térmica** U ($W/m^2.K$)	**Atraso térmico** φ (horas)	**Fator solar** FS (%)
Parede: leve refletora	U 3,60	φ 4,3	FS 4,0
Cobertura: Leve isolada	U 2,00	φ 3,3	FS 6,5

Tabela 3: Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3

Estação	**Estratégias de condicionamento térmico passivo**
Verão	Ventilação cruzada
Inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)

2.3 Valores de ventilação, transmitância, atraso térmico e fator solar das edificações estudadas

Utilizando-se da metodologia proposta no projeto de norma de Desempenho Térmico de Edificações (Lamberts, 1998), foram calculados os parâmetros para a comparação com a diretriz recomendada. Os valores obtidos de ventilação, transmitância, atraso térmico e fator solar das edificações estudadas estão dispostos na **tabela 4**.

Tabela 4: Ventilação, transmitância, atraso térmico e fator solar das edificações

		CASA DE BLOCO DE CONCRETO	**CASA DE CONCRETO CELULAR**	**CASA DE BLOCO CERÂMICO**
	Ventilação (%) $\left(\frac{\text{Área de aberturas}}{\text{Áreas de piso}}\right)$	6,65 *insatisfatório*	6,13 *insatisfatório*	20,38 **satisfatório**
Paredes	Transmitância (U)W/(m².K)	3,13 **satisfatório**	1,17 **satisfatório**	2,66 **satisfatório**
	Atraso térmico (φ) horas	2,64 **satisfatório**	2,66 **satisfatório**	2,16 **satisfatório**
	Fator solar (FS)	3,75% **satisfatório**	1,40% **satisfatório**	6,92% *insatisfatório*
Cobertura	Transmitância (U)W/(m².K)	2,01(3,72)* *insatisfatório*	2,43(3,57)* *insatisfatório*	1,46(2,45)* **satisfatório**
	Atraso térmico (φ) horas	4,95 *insatisfatório*	4,20 *insatisfatório*	4,77 *insatisfatório*
	Fator solar (FS)	6,04% **satisfatório**	2,92% **satisfatório**	4,38% **satisfatório**

*Os valores de transmitância para cobertura entre parêntesis representa o fluxo ascendente.

2.4 Monitoramento das variáveis temperatura e umidade relativa das edificações

Foram instalados instrumentos registradores de temperatura e umidade relativa modelo HOBO TEMP/RH em cada uma das acomodações das edificações (sala, cozinha, dormitório Leste e dormitório Oeste) totalizando doze registradores, sendo quatro por edificação. Os valores de temperatura externa e umidade relativa foram obtidos da estação meteorológica de superfície do Aeroporto de Londrina (modelo SH-2A , Hobeco). O período de coleta de dados foi das 12:00 hrs do dia 17/06/2003 às 15:00 hrs do dia 13/08/2003. Este período por acaso, foi um dos mais frios do ano de 2003.
Após a coleta, estes dados foram tratados no Microsoft Excel, onde elaborou-se gráficos comparativos dos valores coletados e também transportados para o software analysisBio (UFSC/ECV/LabEEE/NPC Versão 2.1), que faz a plotagem dos dados de temperatura e umidade relativa em uma carta psicrométrica, obtendo-se as cartas Bioclimáticas de Givoni que estabelece valores de temperatura entre 18°C e 29°C e de umidade relativa entre 20% e 80% como sendo de sensação de conforto (Givoni 1992), mostrando assim, as porcentagem de horas de conforto e desconforto e ações que podem ser tomadas para melhoria caso necessário.

2.5 Horas de conforto e desconforto

Com os dados de temperatura externa, inicialmente elaborou-se a carta bioclimática para o período em estudo fazendo uso software analysisBio (UFSC/ECV/LabEEE/NPC Versão 2.1). Obteve-se que, para este período, do total de horas em estudo, 55.2% de horas foram de desconforto sendo que deste total, 52.5% foram de desconforto por frio e 2.7% por calor, conforme a tabela 5.

Tabela 5: Horas de conforto e de desconforto para o clima externo para o período monitorado.

Geral		Desconforto	
Conforto	44,8%	Frio	52,5%
Desconforto	55,2%	Calor	2,7%

O clima de Londrina, foi estudado conforme Barbosa (1997), que efetuou a análise climatológica para o período de 1986 à 1996. A **tabela 6** apresenta as características de Londrina para o ano 1996 selecionado como o ano climático de referência ou TRY (Test Referency Year) do período analisado.

Tabela 6: Horas de conforto e de desconforto para o clima externo para o ano TRY (Test Referency Year).

Geral		Desconforto	
Conforto	49,1%	Frio	26,1%
Desconforto	50,9%	Calor	24,8%

Seguindo o mesmo procedimento para o período em estudo (17/06/2003 à 13/08/2003), foram obtidos os valores para as casas conforme mostram as **tabelas 7, 8 e 9**

Tabela 7 : Horas de conforto e de desconforto e estratégias recomendadas para a casa de bloco de concreto

Geral (%)					**Desconforto (%)**				
	SL	***CZ***	***DE***	***DO***		***SL***	***CZ***	***DE***	***DO***
Conforto	73,3	71,9	80,6	85,9	Frio	26,7	28,1	19,4	14,1
Desconforto	26,7	28,1	19,4	14,1	Calor	0,0	0,0	0,0	0,0
Inverno (estratégias recomendadas)					**Verão** (estratégias recomendadas)				
Aquec. Artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	Ventilação	0,0	0,0	0,0	0,0
Aquec. Solar Passivo	0,7	2,3	0,8	0,3	Resfriamento Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0
Massa Térm./Aquec.S.P	26,0	25,8	18,6	13,8	Ar Condicionado	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidificação	0,0	0,0	0,0	0,0	Ventilação/Massa	0,0	0,0	0,0	0,0
					Vent.Massa/Resf.Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0
					Massa/Resf.Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0

SL-sala, **CZ**-cozinha, **DE**-dormitório Leste, **DO**-dormitório Oeste

Tabela 8: Horas de conforto e de desconforto e estratégias recomendadas para a casa de concreto celular

Geral (%)					**Desconforto (%)**				
	SL	***CZ***	***DE***	***DO***		***SL***	***CZ***	***DE***	***DO***
Conforto	75,0	67,3	61,6	68,2	Frio	25,0	32,7	38,0	31,8
Desconforto	25,0	32,7	38,4	31,8	Calor	0,0	0,0	0,4	0,0
Inverno (estratégias recomendadas)					**Verão** (estratégias recomendadas)				
Aquec. Artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	Ventilação	0,0	0,0	0,4	0,0
Aquec. Solar passivo	1,7	2,3	2,1	1,9	Resfriamento Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0
Massa Térmica	23,3	30,4	35,9	29,9	Ar Condicionado	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidificação	0,0	0,0	0,0	0,0	Ventilação/Massa	0,0	0,0	0,0	0,0
					Vent.Massa/Resf.Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0
					Massa/Resf.Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 9: Horas de conforto e de desconforto e estratégias recomendadas para a casa de bloco cerâmico

Geral (%)					**Desconforto (%)**				
	SL	***CZ***	***DE***	***DO***		***SL***	***CZ***	***DE***	***DO***
Conforto	70,4	70,1	76,1	70,8	Frio	29,5	29,9	23,9	29,2
Desconforto	29,6	29,9	23,9	29,2	Calor	0,1	0,0	0,0	0,0
Inverno (estratégias recomendadas)					**Verão** (estratégias recomendadas)				
Aquec. Artificial	0,0	0,0	0,0	0,0	Ventilação	0,1	0,0	0,0	0,0
Aquec. Solar passivo	0,8	2,1	0,7	1,0	Resfriamento Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0
Massa Térmica	28,7	27,8	23,2	28,2	Ar Condicionado	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidificação	0,0	0,0	0,0	0,0	Ventilação/Massa	0,0	0,0	0,0	0,0
					Vent.Massa/Resf.Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0
					Massa/Resf.Evap.	0,0	0,0	0,0	0,0

A figura 1, abaixo, apresenta uma síntese das horas de conforto obtidas no período em estudo do clima externo e dos cômodos internos de cada edificação.

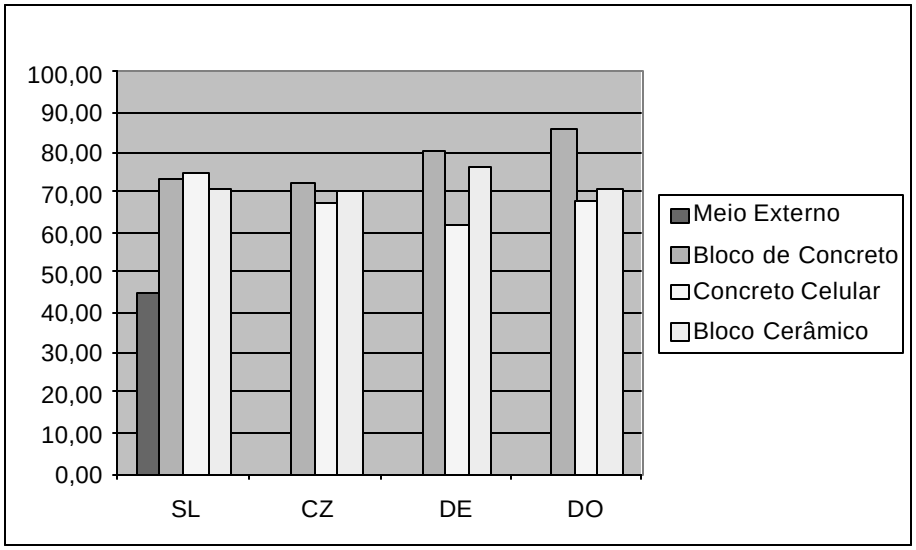

Figura 1: Comparação das porcentagens de horas de conforto.

2.6 Comparação das variáveis temperatura e umidade relativa do ar

Inserindo-se os dados coletados no Microsoft Excel elaborou-se os gráficos comparativos entre as acomodações posicionadas no mesmo sentido em relção ao norte verdadeiro conforme mostra-se a seguir:

2.6.1 Gráficos de temperatura

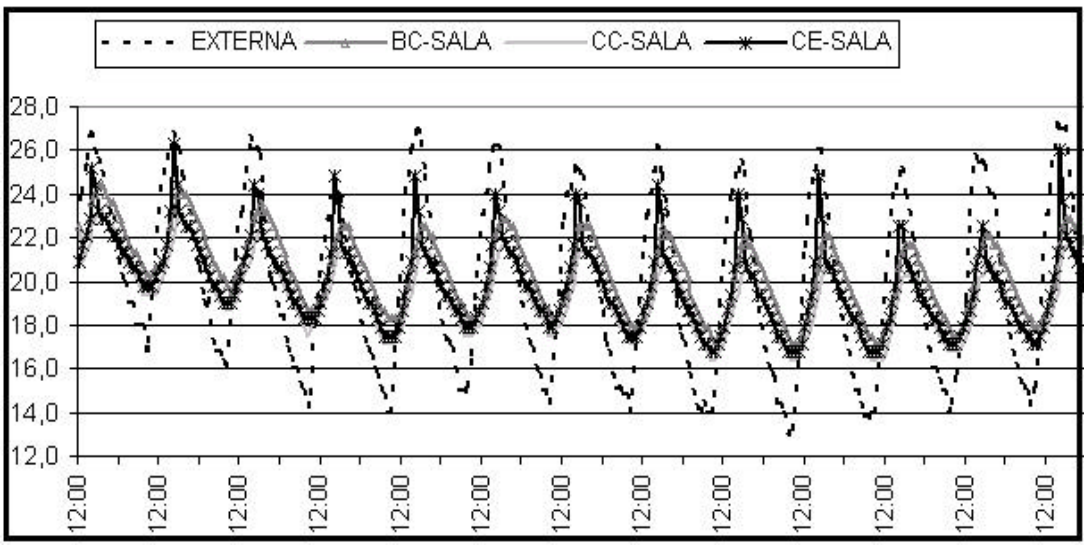

Figura 2: Comportamento das temperaturas do meio externo e das salas para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico
(BC-SALA , CC-SALA, CE-SALA , respectivamente)

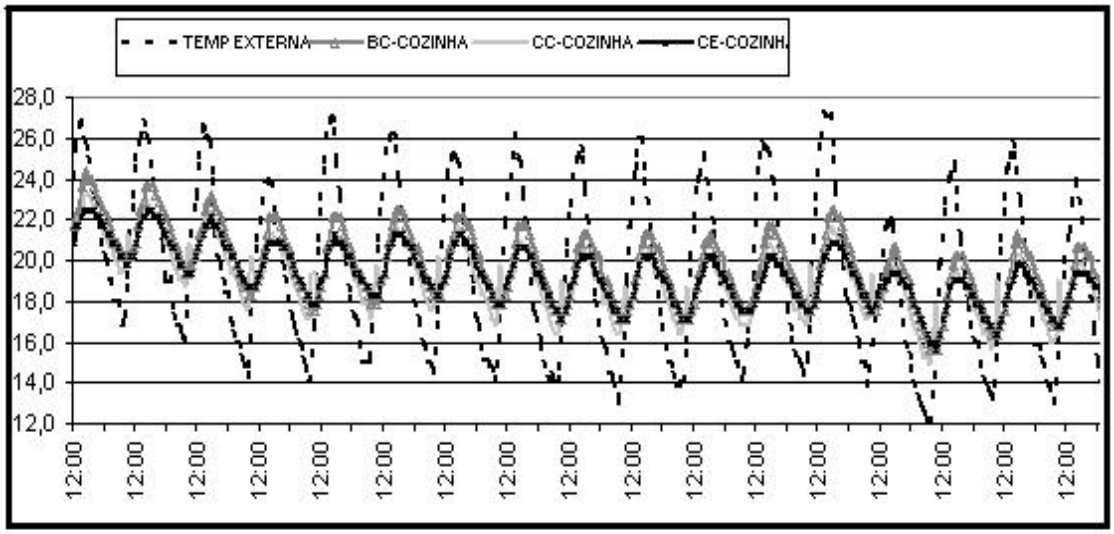

Figura 3: Comportamento das temperaturas do meio externo e cozinhas, para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico
(BC-COZINHA , CC-COZINHA, CE-COZINHA , respectivamente)

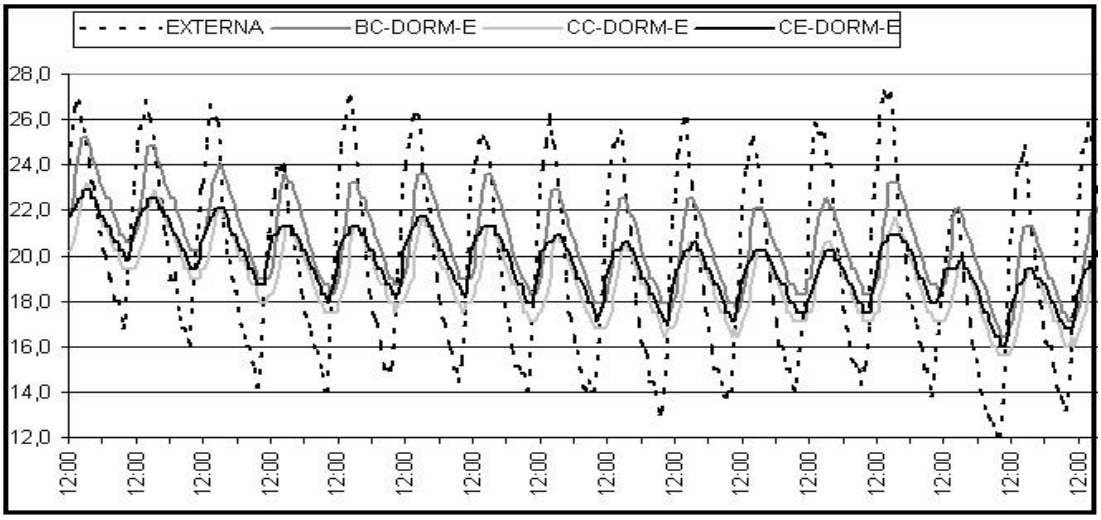

Figura 4: Comportamento das temperaturas do meio externo e dos dormitórios do lado leste, para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico
(BC-DORM-E , CC-DORM-E, CE-DORM-E , respectivamente)

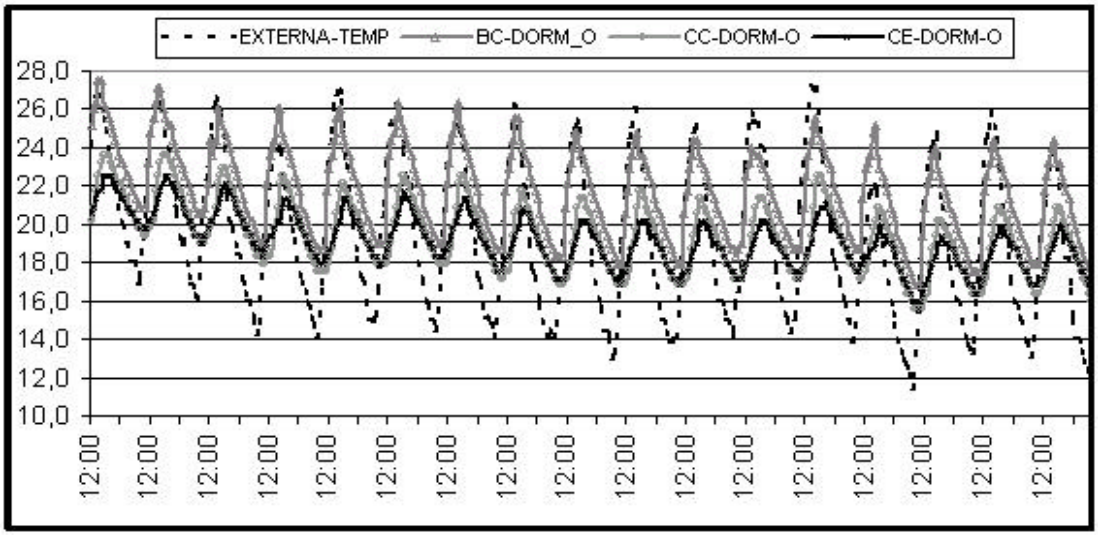

Figura 5: Comportamento das temperaturas do meio externo e dos dormitórios do lado oeste, para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico (BC-DORM-O , CC-DORM-O, CE-DORM-O , respectivamente)

2.6.2 Gráficos de umidade relativa

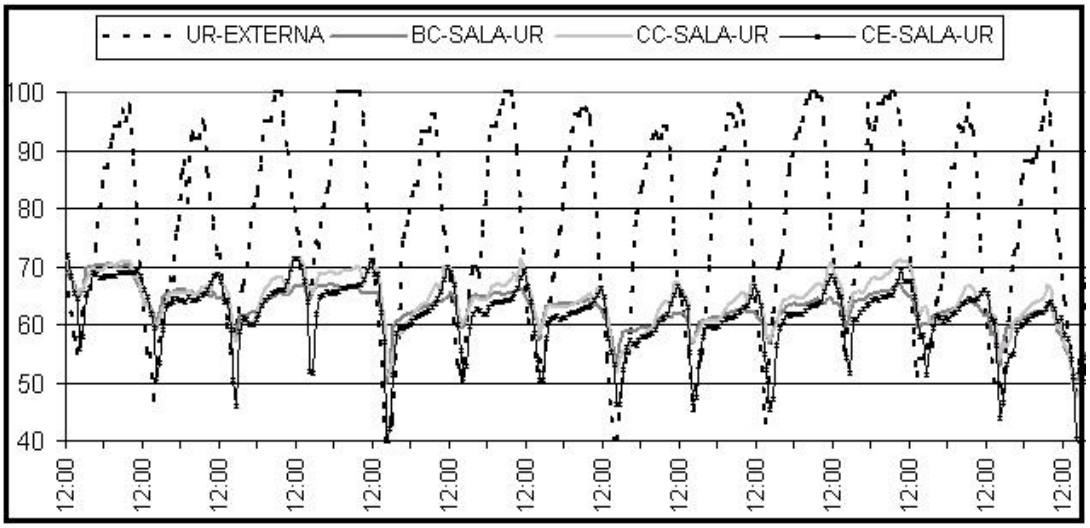

Figura 6: Comportamento das umidades relativas do meio externo e das salas para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico (BC-SALA , CC-SALA, CE-SALA , respectivamente)

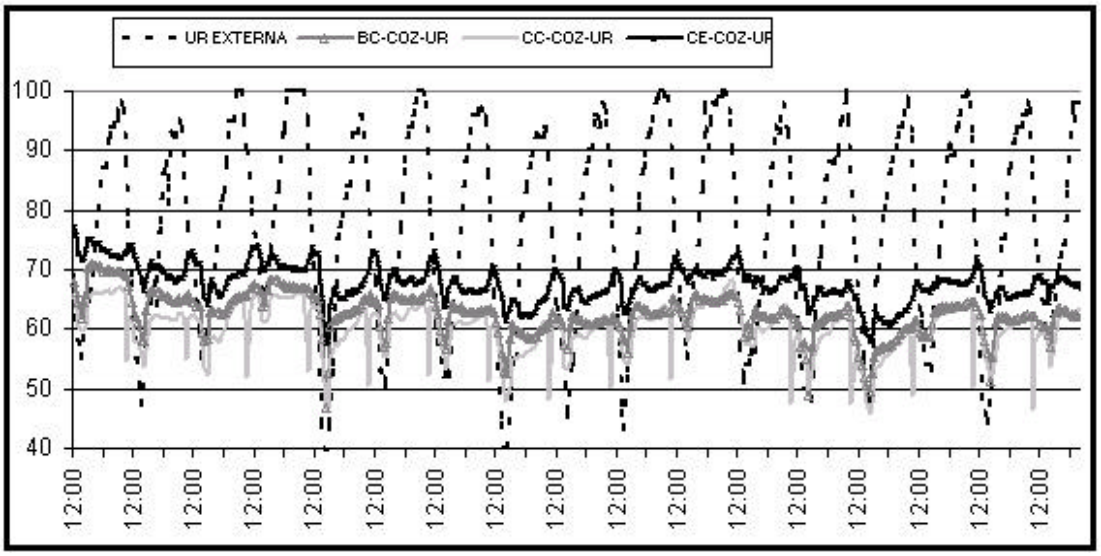

Figura 7: Comportamento das umidades relativas do meio externo e das cozinhas, para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico (BC-COZINHA , CC-COZINHA, CE-COZINHA , respectivamente)

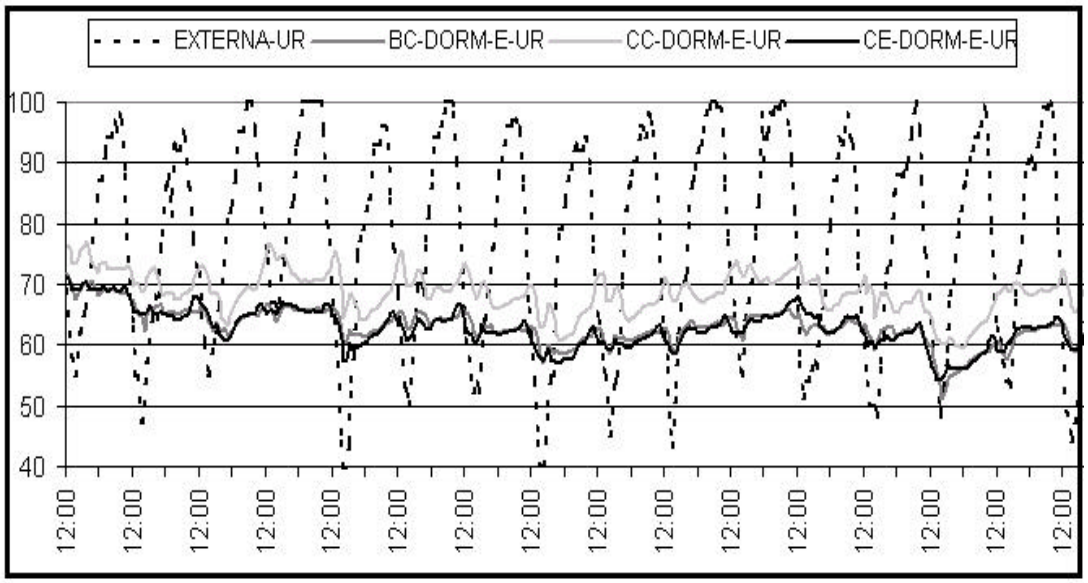

Figura 8: Comportamento das umidades relativas do meio externo e dos dormitórios do lado leste, para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico (BC-DORM-E , CC-DORM-E, CE-DORM-E , respectivamente)

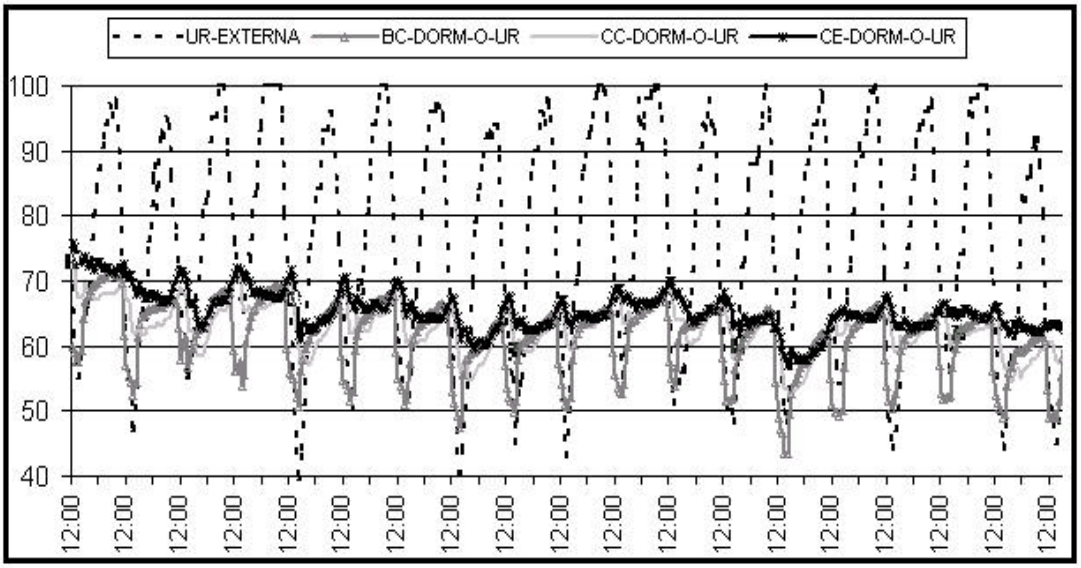

Figura 9: Comportamento das umidades relativas do meio externo e dos dormitórios do lado oeste, para as casas de bloco de concreto, concreto celular, bloco cerâmico (BC-DORM-O , CC-DORM-O, CE-DORM-O , respectivamente)

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Devido dificuldades técnicas, neste estudo não computou-se os efeitos originados pela ventilação, ficando as portas e janelas das edificações permanentemente fechadas, vê-se contudo, que de acordo com as recomendações do projeto de norma de Desempenho Térmico de Edificações (Lamberts, 1998), apenas a casa de bloco cerâmico foi satisfatória neste item (tabela 4) , pois esta possui modelo de janela com abertura total, as outras duas casas possuem sistema de abertura parcial do tipo correr ou basculante não contemplando a norma, necessitando janelas bem maiores que as instaladas.

Nos itens relacionados às paredes (transmitância, atraso térmico e fator solar) todos foram satisfatórios com exceção do fator solar da parede da casa de bloco cerâmico, em função da cor deste elemento construtivo que possui elevada absortância. Quanto ao desempenho térmico dos sistemas coberturas das casas, somente a casa de bloco cerâmico ficou de acordo com o parâmetro recomendado, isso devido a grande eficiência de isolamento térmico (transmitância baixa) da laje pré-moldada mista com elemento cerâmico como enchimento.

Analisando os gráficos comparativos de temperatura e umidade relativa das casas e ambiente externo, constata-se a grande interferência de áreas envidraçadas (aquecimento solar passivo) principalmente na cozinha da casa de concreto celular, pois além da janela a mesma possui uma porta de vidro. Essa interferência é percebida nos gráficos 3 e 7 no período das 07:00 hrs. às 10:00 horas com seu pico máximo às 09:00 hrs. Nota-se o aumento da temperatura por efeito estufa e a diminuição da umidade relativa interna, pois a parcela de ar envolvida passa a suportar uma quantidade maior de vapor d'água devido ao aumento da pressão do vapor.

Com o auxílio dos gráficos de temperatura, pode-se identificar o atraso térmico de temperatura interna das edificações com relação a temperatura externa, embora nos comodos onde aberturas envidraçadas estejam presentes a incidência de raios solares fazem com que a

temperatura interna acompanhe a externa como no dormitório Oeste da casa de bloco de concreto (figura 5) e na sala da casa de bloco cerâmico (figura 2) .
Tendo como base as porcentagem de horas de conforto (figura 1), nota-se a importância da proteção efetiva da edificação para amenizar os efeitos de exposição direta as variáveis temperatura e umidade externa onde obteve-se 44.8% de horas de conforto para o período monitorado e 49.1% para o TRY (Barbosa 1997). No período em análise, onde predominaram temperaturas baixas, a casa de bloco de concreto foi a que promoveu um número maior de horas de conforto , seguida das casas de bloco cerâmico e concreto celular (figura 1).

4. CONCLUSÃO

É importante uma norma que prescreva recomendações quanto ao materiais a serem adotados em uma edificação e principalmente quanto as recomendações sobre a disposição correta de aberturas e áreas envidraçadas e uso de sombreamentos naturais e artificiais, os quais tem bastante influência nos ganhos ou perdas de calor dentro de uma edificação. Ao realizar-se a análise com o levantamento das características térmicas das edificações tomando-se como orientação o projeto de norma de Desempenho Térmico de Edificações (Lamberts, 1998), verifica-se a conformidade e não conformidades das edificações segundo as diretrizes recomendadas para o clima da região de Londrina, partindo-se então, para o traçado comparativos entre as edificações pelos dados de monitoramento. Nota-se um desempenho térmico bem semelhante entre as edificações para o período em estudo predominantemente frio (tabela 5). Para este período de monitoramento das temperaturas e umidades relativas das edificações estudadas, foi possível obter resultados que viabilizassem avaliar os valores de conforto térmico dessas edificações, obtendo que para o período, a casa de bloco de concreto foi a que promoveu maior porcentagem de horas de conforto, seguida das casas de bloco cerâmico e concreto celular, porém é interessante prosseguir o monitoramento a fim de confirmar esta tendência. Entretanto percebe-se que todas as diferenças obtidas nos desempenhos térmicos das edificações, no período estudado, são devido, principalmente, ao efeito de radiação solar direta nas áreas envidraçadas. Como na casa de blocos de concreto onde as janelas e portas são envidraçadas sem nenhuma proteção solar, o maior número de horas de conforto obtido é devido à penetração de radiação solar por estes elementos. Assim, para o período estudado a definição de conforto é de responsabilidade do aquecimento solar passivo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LAMBERTS, R. (1998): **Desempenho térmico de edificações***:* procedimentos para avaliação de habitação de interesse social, Relatório parcial do projeto Normalização em Conforto Ambiental, Florianópolis.

BARBOSA, M. J. (1997): **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais**, Dissertação de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GIVONI, B. (1992): **Comfort climate analysis and building design guidelines**: Energy and buildings, v.18, n.1, pp. 11-23.

KISS, P. A versão 1.0 da habitação. **Revista Téchne** n. 36, p. 24-27, set/out , 1998**.**

Endereço dos autores:

Emydio Silingovschi Junior[(1)]
Miriam Jeronimo Barbosa[(2)]
Cássio Kaminagakura[(1)]
Eduardo Mesquita Cortalassi[(1)]
Gustavo Campos[(1)]
Jucélia Kuchla Vieira[(1)]
Laércio José Guariente [(1)]
Luis Ricardo Lopes[(1)]
Marlon Eduardo Rodrigues [(1)]
Thalita Gordan Ferreira[(1)]

(1)Alunos do curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, DCCI/CTU/UEL
email: emydio.silingovschi@unopar.br -(43)33418417

(2)Professora Doutora - Orientadora - DCCI/CTU/UEL- email: mjb@uel.br - (43)33714455