



MÉTODOS DE PREDIÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÃO EM CLIMA QUENTE-ÚMIDO, COM CONDICIONAMENTO PASSIVO

Bianca Negreiros (1); Aldomar Pedrini (2)

(1) Mestre, arquiteta, pesquisadora do LabSec, Departamento de Arquitetura, bianegreiros@hotmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura, apedrini@ufrnet.br
UFRN – Campus Lagoa Nova, CEP 59072-970 Natal - RN BRAZIL

RESUMO

Esse artigo discute a quantificação das horas de conforto térmico na análise do desempenho de edificações condicionadas naturalmente por ventilação. A escolha do procedimento de quantificação depende de vários aspectos, inclusive da sensibilidade do índice de conforto térmico em relação ao clima e ao projeto arquitetônico. O objetivo do artigo é identificar um índice de conforto térmico sensível a variações de projeto e considerar a influência do movimento do ar no desempenho. O método empregado nessa pesquisa é baseada na comparação entre modelos de conforto adaptativo combinados com o efeito do movimento do ar na sensação de conforto, além dos métodos de Fanger e grau-horas aliados a simulação de um caso base de habitação com condicionamento passivo e variações de sistema construtivo. Como resultado, o índice de Dear e Brager (2002) se mostrou mais recomendado para a análise de desempenho nas condições em estudo por ser mais sensível às alterações das variáveis apresentando maiores modificações na ocorrência de horas dentro das zonas térmicas de desempenho, apresentar uma maior linearidade com o método de graus-hora, que é usado na regulamentação do nível de eficiência energética e por considerar a influência da temperatura radiante média.

Palavras-chave: conforto térmico, desempenho térmico, simulação de edifícios, ventilação natural.

ABSTRACT

This paper assesses the main available methods to quantify the building thermal performance of naturally ventilated house. The selection of quantification procedures depends on several aspects, including the sensibility of the method to classify the thermal comfort for the climate and for the architectural project. The main goal of this research is to select a thermal comfort index sensible to design variations and to consider the influence of air movement in the performance of a housing analysis. The methodology was based in the comparison between adaptive thermal comfort models combined with the effect of the air movement in the sensation of comfort, besides Fanger method and degree-hours method and simulations of a base case of a naturally ventilated house and constructive systems variations. As a result, de Dear and Brager (2002) comfort model proved to be more suitable for performance analysis under de conditions studied, being more sensible to design variations with higher occurrence of changes in the results thermal performance. Besides, it has a greater linearity with the degree-hour method, which is used in energy efficiency regulation and it considers the effect of mean radiant temperature.

Keywords: thermal comfort, thermal performance, building simulation, natural ventilation.

1 INTRODUÇÃO

A análise de desempenho térmico de edificações com condicionamento passivo frequentemente faz uso de uma ou mais variáveis de conforto térmico como temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar e radiação térmica. No caso de climas quentes e úmidos, a influência do movimento do ar se destaca porque é uma das principais estratégias bioclimáticas e de eficiência energética porque pode proporcionar a remoção de calor interno da edificação e o aumento da perda de calor dos indivíduos devido ao movimento do ar.

Há vários métodos para classificar o nível de desempenho por meio da quantificação da frequência de ocorrência de conforto térmico. A escolha do método deve considerar vários aspectos e um deles é a sensibilidade do modelo em relação aos casos estudados.

Um modelo muito difundido de determinação de conforto térmico é o índice PMV/PPD proposto por Fanger (1972), que emprega o modelo de balanço térmico. Este utiliza como referência de sensação de conforto o resultado de trocas de calor entre o corpo humano em um ambiente termicamente estável. É empregado na Norma Internacional ISO 7730 e na norma ASHRAE Standard 55-2004 (DE DEAR; BRAGER, 2002). A norma ISO 7730 se aplica à edificações que utilizam condicionamento ativo, onde as condições de conforto são estáticas e utiliza o índice PMV/PPD para estimar a sensação de conforto térmico. Entretanto este índice possui restrições para aplicação em regiões de clima tropical. Fanger e Toftum (2002), em reconhecimento às limitações do modelo proposto originalmente por Fanger, sobretudo quanto à adaptação do usuário, propõe o modelo de Fanger estendido, no qual o valor do fator de expectativa pode variar de 0,5 a 1,0 e deve ser multiplicado pelo PMV, sendo de 0,5 para climas quentes durante todo o ano. Para De Dear e Brager (2002) o índice PMV é apropriado para ambientes com condicionamento artificial de ar, porém os ocupantes de edificações naturalmente ventiladas se adaptam a uma maior gama de condições que geralmente refletem os padrões da temperatura externa. Para Nicol (2004), a ISO 7730 não descreve de forma adequada condições de conforto uma vez que não inclui o princípio adaptativo, negligenciando temperaturas em que as pessoas estariam em conforto. Para Moujalled et al. (2008), o uso do índice PMV/PPD para avaliação de conforto térmico resultaria em sobreaquecimento das edificações durante estações frias e uso excessivo de condicionadores de ar durante as estações quentes. Isso acontece porque os limites de conforto térmico são facilmente extrapolados quando ocorrem até mesmo pequenas variações de temperatura radiante ou umidade relativa, comuns na ocupação diurna de edificações naturalmente ventiladas.

Os modelos adaptativos são baseados em experiências realizadas em campo e expressam a tendência natural de adaptação humana às mudanças climáticas no ambiente. Segundo Nicol e Humphreys (2002), o principal princípio do pensamento adaptativo é: se ocorre uma mudança que produza desconforto, as pessoas reagem de maneira a restaurar o conforto.

Os modelos adaptativos são expressos em equações que associam a temperatura de conforto com a temperatura externa mensal. Além da temperatura são sugeridas faixas de conforto, com temperaturas adicionadas ou subtraídas a estes valores mensais encontrados, onde o usuário também se encontra em conforto de acordo com as possibilidades de adaptação ou aceitabilidade dos usuários às condições de estresse térmico.

Auliciems 1981 apud Szokolay (2004) apresentou o modelo psico-fisiológico da percepção térmica que representa a base dos modelos adaptativos (Tabela 1). O modelo é resultado de correlações de dados obtidos em edificações climatizadas e naturalmente ventiladas, assume pessoas com atividade sedentária e usando roupas de sua escolha. O estudo expressa a temperatura de conforto com uma variação de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura de neutralidade, e restringe esta entre 18 e 28 $^{\circ}\text{C}$.

Esta faixa de conforto desenvolvida por Auliciems (1981, apud SZOKOLAY, 2004) considera a velocidade do ar como um fator que pode provocar um aumento no limite superior de temperatura da zona de conforto através do resfriamento fisiológico. Segundo Szokolay e Docherty (1999) a equação para aumento da temperatura limite de conforto (descrita na Tabela 1) deve ser usada para velocidades do ar de até 1,5m/s, limite definido por acreditar-se que valores superiores causariam efeitos perturbadores no ambiente (os autores se referem a ambientes de trabalho, como escritórios).

Nicol e Humphreys (2002) reafirmaram que a temperatura de conforto em edificações naturalmente ventiladas é função da temperatura externa, assim como mostrado em estudos anteriormente desenvolvidos por eles. O estudo mostrou que a relação entre temperatura de conforto e temperatura externa é estável e apresenta uma equação para cálculo da temperatura de conforto similar as anteriormente propostas (Tabela 1). É recomendada uma variação de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ na temperatura de conforto quando não for possível o uso de alternativas de adaptação como o uso de movimento do ar e troca de roupas. O modelo de conforto de Nicol

(2004) sugere que velocidades do ar superiores a 0,1 m/s e constantes até 1 m/s permitem que a temperatura de conforto se eleve de acordo com equação presente na Tabela 1.

A última revisão da norma ASHRAE 55 incorporou o princípio de adaptabilidade proposto por Dear e Brager (2002). Estes propuseram uma faixa de conforto térmico que relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna (Tabela 1). Seu limite de conforto para 90% de pessoas satisfeitas é de $\pm 2,5^\circ\text{C}$ na temperatura de conforto e de $\pm 3,5^\circ\text{C}$ para 80% de pessoas satisfeitas. Esta faixa de conforto é recomendada para uso apenas sob as seguintes circunstâncias:

- Espaços condicionados naturalmente onde as condições térmicas são controladas principalmente pelos usuários através da abertura e fechamento de janelas;
- Espaços que podem ter aquecimento artificial, mas o método não se aplica quando em funcionamento;
- Espaços onde não haja sistemas mecânicos de resfriamento;
- Espaços onde haja sistemas de ventilação mecânica, porém sem condicionamento de ar;
- Os ocupantes devem estar em atividade sedentária (1-1,4 met) e aptos à livre adaptação de vestimenta e condições térmicas entre o interior e o exterior.

A ASHRAE Standard 55-2004 (OLESEN, 2000) também considera um aumento do limite da faixa de conforto em virtude da velocidade do ar. O efeito da velocidade do ar é considerado o mesmo sobre a temperatura de bulbo seco e sobre a temperatura radiante média. Neste modelo a diferença é que, além de considerar a velocidade do ar, também é considerada a diferença entre as temperaturas radiante e temperatura do ar. Este modelo é aplicado para condições com roupas leves entre 0,5 e 0,7 clo e taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met e situações em que os ocupantes têm controle individual do movimento do ar. A velocidade do ar foi limitada em 0,8m/s devido aos efeitos provocados por velocidades mais elevadas e, segundo a norma, o aumento da velocidade do ar para compensar maiores temperaturas do ar e radiante média não deve ser maior do que 3°C .

Os índices de conforto e os métodos de compensação sobre a sensação de conforto térmico devido à influência da velocidade do ar estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 1 – Índices de conforto e equações de velocidades do ar

	ÍNDICES DE CONFORTO	EQUAÇÕES DE VELOCIDADE DO AR		
1	$T_c = 0,31T_e + 17,6$ Variação de $\pm 2,5^\circ\text{C}$ (AULICIEMS, 1981; apud SZOKOLAY, 2004)	$dT = 6(v - 0,2) - (v - 0,2)^2$ (SZOKOLAY e DOCHERTY, 1999)		
2	$T_c = 0,54 T_e + 13,5$ Variação de $\pm 2,0^\circ\text{C}$ (HUMPHREYS e NICOL, 2002)	$dT = 7 - (50/(4+10v^{0,5}))$ (NICOL, 2004)		
3	$T_c = 0,31T_e + 17,8$ Variação de $\pm 2,5^\circ\text{C}$ (de DEAR E BRAGER, 2002)	$dT = (a + b)x_1 + cx_2 + dx_1^2 + ex_2^2 + fx_1x_2 + gx_1^3 + hx_2^3 + ix_1x_2^2 + jx_1^2x_2$, Em que : x_1 representa a diferença entre temperatura radiante e do ar, em $^\circ\text{C}$ x_2 representa a velocidade do ar, em m/s e as constantes são:		
Onde: T_e é a temperatura média mensal, em $^\circ\text{C}$ T_c é temperatura de conforto, em $^\circ\text{C}$ dT é o aumento de temperatura por uso da velocidade do ar, em $^\circ\text{C}$ V é a velocidade do ar, em m/s		a=-8,95E-03	e=4,86	i=-1,61E-02
		b=9,03E-03	f=0,14	j=2,48E-03
		c=1,67	g=-1,33E-04	
		d=-2,18E-04	h=-3,58	
		Equação da superfície apresenta no gráfico da Figura 1, adaptado da ASHRAE Standard 55-2004 (2004d), Erro! Fonte de referência não encontrada. , página Erro! Indicador não definido. , utilizando o programa DataFit version 9.0.59 (OAKDALE ENGINEERING, 2009)		

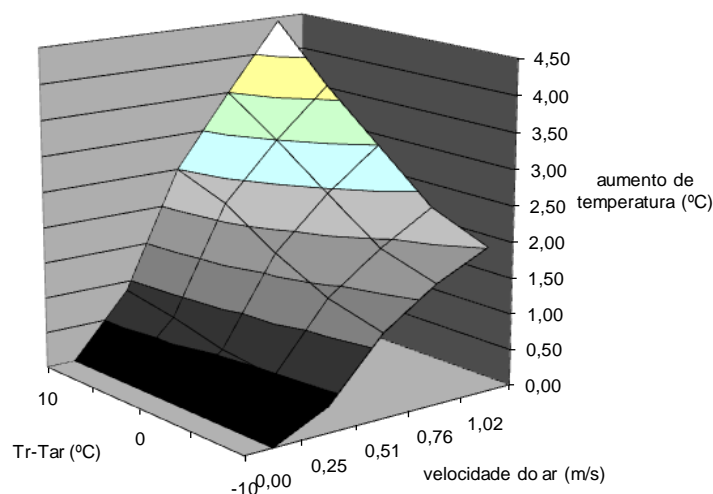


Figura 1. Relações entre velocidade de ar, diferença entre temperatura radiante e temperatura do ar, e efeito equivalente à redução da temperatura do ar.

2 OBJETIVO

O objetivo desse artigo é comparar índices de conforto térmico do ponto de vista da sensibilidade às variações de características arquitetônicas considerando o clima quente e úmido de Natal-RN e considerando a influência do movimento do ar como definidora de uma faixa de conforto térmico.

3 MÉTODO

A comparação entre métodos para avaliar o desempenho térmico de uma edificação do tipo residencial, com condicionamento passivo e para o clima de Natal-RN, foi estabelecida entre os métodos adaptativos de Auliciems (1981, apud SZOKOLAY, 2004), de Humphreys e Nicol (2002), e de Dear e Brager (2002), combinados com o efeito do movimento do ar na sensação de conforto térmico apresentados em Szokolay e Docherty (1999), Nicol (2004) e ASHRAE (2004d), respectivamente, além do modelo de Fanger e grau-horas. O objetivo é verificar a sensibilidade de cada um em relação às mudanças de características arquitetônicas, para isso foi utilizado gráfico de contagem anual das horas de conforto.

O gráfico empregado para quantificar a ocorrência de conforto térmico é feito por meio de planilha eletrônica e representa a variação de zonas térmicas delimitadas ao longo das horas totais por um ano (NEGREIROS e PEDRINI, 2010). O primeiro passo para a realização do gráfico é o cálculo da temperatura neutra ou temperatura de conforto. Esta é calculada utilizando as equações de temperatura neutra dos índices de conforto adaptativos analisados (Tabela 1). Todos os índices analisados baseiam-se na temperatura média mensal externa para fazer cálculo da temperatura neutra e essa foi calculada para cada dia como uma média da temperatura dos 30 dias anteriores a ele, por considerar que esta seria uma temperatura mais representativa para a aclimação do usuário do ambiente.

Os limites das zonas térmicas de desconforto ao frio e de conforto foram calculados de acordo com as variações para temperatura de conforto estabelecida pelos índices analisados. Os índices de Auliciems e de Dear e Brager estabelecem uma variação de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ para a zona de conforto e o índice de Nicol e Humphreys estabelece uma variação de $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ para a zona de conforto. Para temperatura abaixo dessa variação foi considerada valor dentro da zona de desconforto ao frio. Para valores maiores foi enquadrado dentro dos próximos limites estabelecidos: conforto por uso de ventilação ou desconforto ao calor.

Em seguida passou-se para o estabelecimento do limite da zona de conforto com uso de ventilação e de desconforto ao calor. Este foi calculado utilizando as equações que consideram a velocidade do ar para aumento da temperatura limite de conforto de acordo com cada índice (Tabela 1). Foi utilizado o valor de 0,8m/s para a velocidade do ar em todas as equações por ser esta a máxima ventilação comum indicada nas equações, obtendo-se um acréscimo de $4,2^{\circ}\text{C}$ na temperatura de conforto indicada na primeira equação, $3,4^{\circ}\text{C}$ na segunda equação e um valor variado na terceira equação uma vez que esta depende da diferença entre as temperaturas radiante e do ar, além da velocidade do ar.

O valor resultante de cada equação foi somado ao limite de conforto e assim estabelecido o limite da zona de conforto com uso de ventilação. Para todas as temperaturas acima desse valor foi considerado dentro

da zona de desconforto ao calor. Os limites de cada zona térmica não são fixos, uma vez que estão em função da temperatura externa por se tratar de índices adaptativos.

A identificação de ocorrência de conforto térmico segundo os índices de Auliciems e para o índice de Nicol e Humphreys ocorre por meio das temperaturas internas do ar do ambiente analisado em cada hora do ano e sua comparação com os limites das zonas térmicas preestabelecidos. Para o índice de Dear e Brager é calculada a temperatura operativa de cada hora do ano e esta é comparada com os limites preestabelecidos. A temperatura operativa é calculada com a equação definida pela ISO 7730.

3.1 Características da habitação

A edificação modelada possui sistema construtivo em painéis modulados em concreto celular espumoso, uma mistura homogênea de argamassa com espuma, gerando um material fluido que logo em seguida é despejado sobre fôrmas padrão. Vãos de aberturas e dutos para a passagem de instalações elétricas e hidro-sanitárias já são locados durante esta fase, com o objetivo de evitar a quebra do painel depois de pronto.

O protótipo modelado possui área total de 33,24m², dividida em dois quartos, um banheiro, uma sala e cozinha integradas e pé direito de 2,45m. Uma vez que o programa configura as aberturas com vidro, estas foram modeladas com vidro de fator solar igual a 1, para que toda a radiação incidente seja transmitida, simulando uma janela aberta. As rotinas de aberturas consideraram abertura de 100% da área de janelas durante 24 horas para que seja possível avaliação do potencial de ventilação.

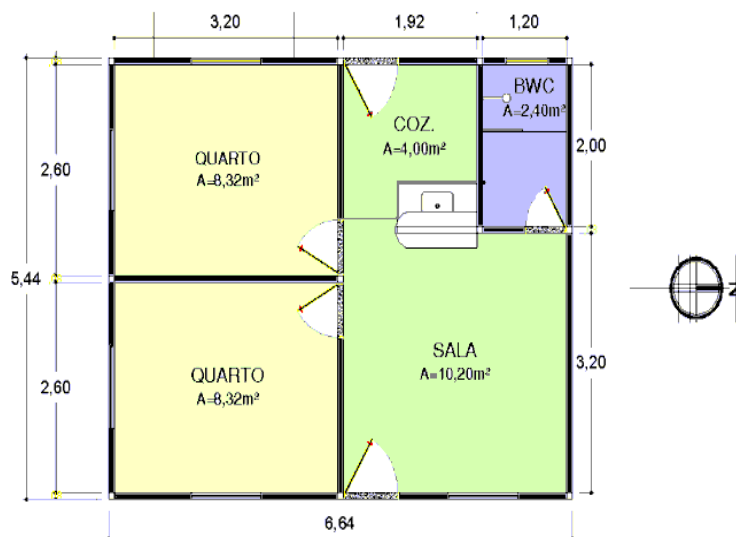


Figura 2 - Planta da habitação social utilizada como caso base

O arquivo climático utilizado nas simulações é o ano climático de referência – TRY (Test Reference Year) de Natal (GOULART et al., 1998), de onde também foram retiradas as temperaturas do solo para uso nas simulações.

As simulações foram feitas utilizando um caso base com paredes de concreto celular com cor clara e cobertura de telha de barro e forro. As variações utilizaram cobertura clara, cobertura sem forro, cobertura clara e sem forro e parede escura de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Variações nos sistemas construtivos utilizados nas simulações

TIPO	SISTEMA CONSTRUTIVO	Transmitância U (W/m ² .K)	Absortância α	FCS %
COBERTA				
CB	Cobertura de telha de barro com forro	2,24	0,8	5,4
C1	Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do forro: 1,0 cm		0,2	1,8
C2	Cobertura de telha cerâmica [sem forro]	4,55	0,8	10,9
C3	Espessura da telha: 1,0 cm		0,2	3,64
PAREDES				
PB	Paredes de concreto celular	3,03	0,2	2,4
P1	Espessura: 0,08cm		0,8	9,6

A rotina de ocupação considerou uma família média composta por 4 pessoas, 1 casal e dois filhos. Os quartos são ocupados por no máximo duas pessoas (0,24pessoas/m²), enquanto que sala e cozinha podem ser utilizadas por toda a família (0,28pessoas/m²). O metabolismo adotado foi de 110 W/pessoa e fator metabólico de trabalho leve igual a 0,9. As rotinas de iluminação adotaram o uso de lâmpadas fluorescentes compactas com valores de 15 W instalados nos quartos, 30W instalados na sala/cozinha e 15 W instalados no banheiro.

As rotinas de iluminação foram baseadas nos horários de ocupação dos cômodos, utilizando-se o horário de 18h às 22h. Quanto aos equipamentos foi considerada para a sala o uso de um aparelho de TV de 20' com potência média de 90W, com um ganho de 6,33W/ m²; para os demais ambientes não foi considerado o uso de nenhum equipamento.

A rotina de ocupação nos quartos é de 100% de ocupação entre 00:00 e 06:00h e 22:00 e 24:00h e ocupação de 50% entre 18:00 e 22:00h, admitindo-se duas pessoas ocupando os quartos. Na sala foi admitida uma ocupação de 100% entre 06:00 e 07:00h, horário de possível uso de toda a família e de 50% de ocupação entre 07:00 e 22:00h, admitindo-se que duas pessoas continuam na casa o dia inteiro.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A comparação dos resultados requer uma maneira simplificada para manusear os muitos dados produzidos, por isso foi adotada a contagem anual de horas em cada zona térmica, zona de desconforto ao frio, conforto, conforto com uso de ventilação e desconforto ao calor. A Figura 3trás esses resultados e levando-se em consideração quais índices tem maior sensibilidade na classificação dos resultados, observa-se que os índices de Auliciems e de Nicol e Humphreys apresentam menores variações de resultados para os diferentes casos simulados, concentrando resultados em menos faixas de desempenho.

De acordo com Nicol e Humphreys os resultados de temperaturas anuais se concentram nas faixas de desconforto por frio, conforto e conforto por ventilação. O índice de Auliciems considera apenas 1% das horas do ano do caso de cobertura sem forro em desconforto por calor.

Os índices de Fanger Estendido e de de Dear e Brager abrangem todas as faixas de desempenho. De acordo com o índice de Fanger Estendido entre 1% e 13% das horas do ano de cada caso estão em desconforto ao calor, enquanto que o índice de de Dear e Brager considera entre 1% e 12% das horas totais. Também a contagem de graus-hora mostra grandes variações de desempenho entre os casos simulados. Entre o pior caso considerado, parede escura, e o melhor, cobertura clara, houve uma diferença de 3989,79 graus-hora.

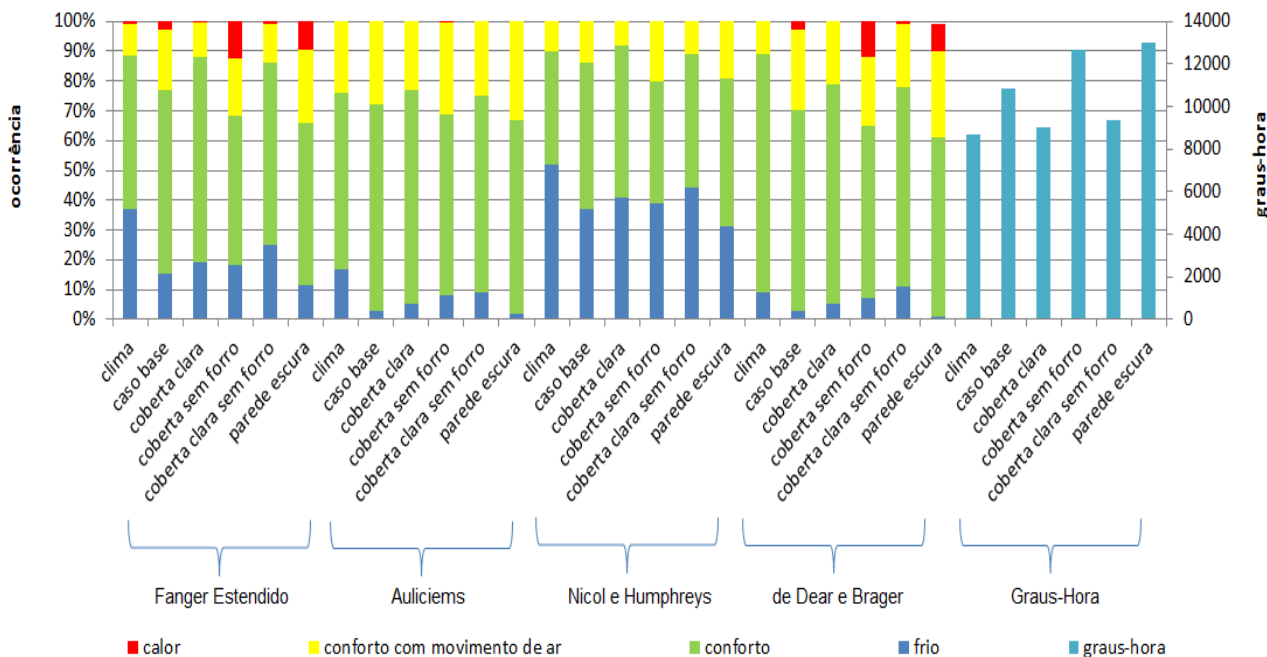


Figura 3 - Gráfico de desempenho térmico das variáveis do modelo simuladas utilizando diferentes índices de classificação de conforto

Os índices de Fanger estendido e de Nicol e Humphreys apresentam maiores ocorrência de resultados dentro da zona de desconforto ao frio. O índice de Fanger estendido considera entre 11% e 25% das horas de cada caso na zona de desconforto ao frio, 37% de horas do clima externo. O índice de Nicol e Humphreys

considera entre 31% e 42% das horas de cada caso na zona de desconforto ao frio, chegando a 52% de horas do clima externo. O índice de Auliciems considera entre 2% a 9% das horas de cada caso em desconforto ao frio e 17% das horas do clima. Já o índice de Dear e Brager consideram entre 1% a 11% das horas dos casos e 9% das horas do clima (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores para desconforto ao frio de acordo com cada índice de conforto

	Fanger Estendido	Auliciems (1981)	Nicol e Humphreys (2002)	de Dear e Brager (2002)
Clima	37%	17%	52%	9%
Caso base	15%	3%	37%	3%
Coberta clara	19%	5%	41%	5%
Coberta sem forro	18%	8%	39%	7%
Coberta clara sem forro	25%	9%	44%	11%
Parede escura	11%	2%	31%	1%

As maiores similaridades ocorrem nos índices de Fanger estendido, de Dear e Brager e a contagem de graus-hora. Neles ocorrem as maiores variações de horas dentro das faixas de conforto para os diferentes casos analisados. No entanto, o alto grau de ocorrência de desconforto ao frio nos resultados de Fanger estendido, assim como no índice de Nicol e Humphreys, demonstra que estes índices têm menor tolerância a temperaturas mais baixas.

Em média 20% das horas do ano de cada caso encontra-se em conforto devido ao uso de ventilação, mostrando como essa estratégia bioclimática tem grande influência na melhora do nível de conforto da habitação. As horas a mais em conforto devido à ventilação ajudam na redução do consumo de energia, minimizando diretamente o uso de sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado.

Quanto às variáveis utilizadas, o caso que apresentou maior número de horas de conforto foi o de habitação com cobertura clara, seguida pelo caso base e de cobertura clara sem forro. O caso com maior número de horas de desconforto por calor é o caso de habitação sem forro, seguida pelo caso com paredes escuras.

O uso de dois sistemas construtivos na envoltória com valores para fator de calor solar maiores que os permitidos pela norma (coberta sem forro e parede de alta absorvância) mostraram maiores prejuízos no desempenho do protótipo, com os maiores registros de horas em desconforto ao calor, confirmando serem valores que comprometem o desempenho da habitação. Apesar do material utilizado nas paredes do caso base ter maior transmitância que a estipulada na norma ($3,03\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$), sua utilização aliada a uma baixa absorvância possibilita bom desempenho, tendo baixo fator de calor solar.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o índice de Dear e Brager (2002) é o mais recomendado para análise de desempenho para o estudo. Neste estudo comparativo este índice se mostrou mais sensível às alterações das variáveis apresentando maiores modificações na ocorrência de horas dentro das zonas térmicas e cobrindo a maior faixa de zonas térmicas, além de apresentar uma maior linearidade com o método de graus-hora, que é usado na regulamentação do nível de eficiência energética. Além disso, o índice de Dear e Brager (2002) é um índice adaptativo (leva em consideração o princípio de acomodação do indivíduo ao ambiente), considera a influência da temperatura radiante média, utilizando a temperatura operativa para cálculo de conforto e utiliza a diferença entre temperatura radiante e temperatura do ar na equação para aumento da temperatura de calor em decorrência do uso da velocidade do ar, diferente dos outros índices que não consideram a temperatura radiante média em suas análises.

A ventilação natural mostra-se eficaz para melhoria no desempenho térmico em grande quantidade de horas do ano, sendo a estratégia mais simples para promover conforto térmico quando a temperatura interna se torna elevada. A ventilação natural para obtenção de conforto é indicada para climas onde a temperatura de ar externa esteja em condições aceitáveis de conforto, pois através desta estratégia se alcança o resfriamento com a temperatura interna se igualando a temperatura externa. Sendo assim alternativas para projeto que permitam a permeabilidade dos fechamentos, o uso de elementos vazados e espaços contínuos para permitir ventilação são bem-vindas.

Quanto às variáveis, o caso de habitação com cobertura clara apresenta os melhores resultados, somando maior número de horas de conforto durante o ano. O caso de habitação sem forro se mostra ser a menos adequada, por possuir maior número de horas de desconforto por calor no ano.

A saída gráfica elaborada para visualização dos resultados das simulações foi desenvolvida através da contagem de horas de conforto e desconforto nas 24 horas do dia em todas as horas do ano. O gráfico resultante mostrou ser adequado para apontar as variações de temperatura ao longo do dia, durante todas as horas do ano, possibilitando a identificação do grau de desconforto registrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. A. A.-C. E., INC. **Standard 55-2004 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** SI. ed. Atlanta, Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55.** *Energy and Buildings* [S.I.], v. 34, n. 6, p. 549-561, jul 2002.
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort.** United States: Mc Graw Hill Book Company, 1972.
- FANGER, P. O.; TOFTUM, J. **Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates.** *Energy and Buildings* [S.I.], v. 34, n. 6, p. 533-536, JUL 2002.
- GOULART, S. V. G. et al. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras.** Second. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.
- ISO (Ed.) **ISO 7730 Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort.** Geneva: International Standards Organisation, 2nd ed. 1994.
- MOUJALLED, B. et al. **Comparison of thermal comfort algorithms in naturally ventilated office buildings.** *Energy and Building* [S.I.], Jul 2008.
- NICOL, F. **Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics.** *Energy and Buildings* [S.I.], v. 36, n. 7, p. 628-637, jul 2004.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** *Energy and Buildings* [S.I.], v. 34, n. 6, p. 563-572, jul 2002.
- OAKDALE ENGINEERING. **DataFit Oakdale 2009.**
- OLESEN, B. W. **Guidelines for comfort.** *Ashrae Journal* [S.I.], v. 42, n. 8, p. 41-46, AUG 2000.
- SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: the Basis of Sustainable Design.** Bullington, Great Britain: Architectural Press, 2004.
- SZOKOLAY, S. V.; DOCHERTY, M. (Eds.) **Climate Analysis.** Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques. Brisbane: PLEA in association with Department of Architecture, The University of Queensland, p.56, Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques. 1999.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.