



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS METÁLICAS NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS

Alexandra da Silva Dias (1); Henor Artur de Souza (2); Marcelo Cid de Amorim (3)

- (1) Arquiteta e mestrande do Programa de Pós-Graduação em Estruturas Metálicas/UFOP, alexandra.dias@ig.com.br
(2) DSc, Professor do Departamento de Mecânica – UFOP, Ouro Preto – MG., E-mail: henor@em.ufop.br Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto/MG, CEP: 35400-000 Tel.: (31) 3559 1547
(3) DSc, Professor do Departamento de ciências administrativas e do ambiente – UFRJ/ITR, Três Rios–RJ. E-mail: mcid@ufrj.br

RESUMO

Uma cobertura eficiente deve apresentar características tais como estanqueidade, resistência ao impacto, leveza e durabilidade, além de propriedades térmicas adequadas às condições climáticas externas. Neste estudo, tem-se como objetivo avaliar o desempenho térmico de sete diferentes tipologias de coberturas metálicas utilizadas em galpões estruturados em aço, variando a sua geometria para oito zonas bioclimáticas. O desenvolvimento do trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira, investigativa, sobre galpões e coberturas metálicas mais utilizadas no país e a segunda etapa, numérica, consistiu na realização de simulações utilizando *software Energy Plus*. Os resultados obtidos mostraram que as tipologias de coberturas que permitem ventilação natural apresentam melhor desempenho, independente da condição climática, destacando-se a cobertura tipo *shed* transversal para condições climáticas de verão e lanternim duplo para condições de inverno.

Palavras-chave: desempenho térmico, simulação numérica, coberturas metálicas, galpões metálicos.

ABSTRACT

An effective roofing must provide features such as tightness, impact strength, lightness and durability in addition to presenting appropriate thermal properties to external weather conditions. This study has been carried out to evaluate the thermal performance of seven different types of metal roofing used in structured steel sheds, varying its geometry to eight bioclimatic zones. There were two development stages for this work: the first one, an investigative study of the most used types of sheds and metal roofs, and the second one, which comprised numerical simulations on Energy Plus. The results showed that the types of coverages that allow natural ventilation have better performance, regardless of weather conditions. They also highlight the better performance of the transversally oriented shed for summer conditions and the double vent for winter conditions.

Keywords: thermal performance, numerical simulation, steel roof, steel shed

1. INTRODUÇÃO

A envoltória de uma edificação é constituída por componentes (paredes, telhados e esquadrias) que separam o meio interno do externo e estes devem ser adequados às condições térmicas externas de maneira a auxiliar nas trocas de energia térmica, proporcionando, da melhor forma possível, um ambiente apropriado às exigências de conforto de seus usuários. Desta forma, para a obtenção de conforto térmico em ambientes internos é necessário uma interação entre o projeto arquitetônico e as propriedades termofísicas de seus materiais construtivos às variáveis climáticas da região onde será implantada a edificação.

Dentre as variáveis climáticas, a radiação é um dos fatores que mais influencia no ganho térmico de uma edificação, sobretudo nas coberturas. Em construções horizontais de um pavimento, a superfície da cobertura apresenta-se como o maior componente exposto a radiação solar. Esta absorve grande parte da energia radiante e a transfere para o interior. Para latitudes menores, em algumas épocas do ano, as coberturas estão mais expostas à insolação do que as paredes, em torno de 12 h de insolação em média, enquanto que as paredes recebem de 5,5 a 6 h (SILVEIRA, 2004; PERALTA, 2006)

O efeito da radiação solar sobre uma construção, ou quaisquer superfícies no planeta, é quantificado pela intensidade de energia e o ângulo de incidência que variam, basicamente, segundo três fatores: localização geográfica, orientação e época do ano. Sendo assim, um mesmo volume de espaço interior com geometrias diversas apresenta comportamentos térmicos globais diferentes, dependendo do local onde a construção está inserida (RIVERO, 1986).

Desta forma, torna-se necessário um estudo para avaliar o desempenho térmico de diferentes coberturas quanto à sua forma e composição, analisando seu comportamento térmico quando utilizados em diferentes regiões bioclimáticas, buscando melhorar o conforto térmico e a qualidade do ambiente construído. Como modelo de análise, neste trabalho, utiliza-se galpões em estrutura metálica com diferentes tipologias de coberturas, devido, principalmente, à difusão do uso de estruturas metálicas no Brasil e as características construtivas dos galpões em aço, com extensas áreas cobertas de um único pavimento e diversidade de tipologias de coberturas.

2. OBJETIVO

Avaliar comparativamente o desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em galpões estruturados em aço, quanto à sua geometria, em oito zonas bioclimáticas brasileiras definidas na norma NBR 15220: 2005.

3. MÉTODO

O desenvolvimento do estudo proposto foi dividido em duas etapas: (a) a primeira, investigativa, correspondeu a uma revisão bibliográfica sobre galpões e as tipologias de coberturas metálicas mais utilizadas nestas edificações; (b) a segunda etapa, consistiu na realização de simulações numéricas para avaliar comparativamente o desempenho térmico das diferentes soluções construtivas em coberturas estruturadas em aço.

As etapas relevantes no processo de avaliação do desempenho térmico de uma edificação, por meio de simulação numérica, abrangem principalmente a caracterização da edificação, a caracterização das condições típicas de exposição ao clima, caracterização e configuração geométrica de todo sistema construtivo e a caracterização do perfil de ocupação.

3.1 Caracterização do modelo do galpão analisado

O modelo do galpão foi definido de acordo com os critérios de modulação de edifícios estruturados em aço presente em referências bibliográficas (BELLEI, 2006; NOGUEIRA, 2009), visando o melhor desempenho de todos os componentes do sistema: estrutura, fechamentos e principalmente a cobertura. Geralmente, os galpões são edificações de um único pavimento, constituídos por pórticos planos regularmente espaçados, com cobertura na parte superior e fechamento lateral.

3.2 Caracterização do clima

O clima foi representado pelas características climáticas das oito zonas bioclimáticas (ZB) de acordo com norma NBR-15220 (ABNT, 2005). As simulações foram estabelecidas para dois dias com clima distinto, ou seja, um tipicamente de verão e outro de inverno. Na Tabela 1, reúnem-se características do clima (datas de ocorrência das temperaturas máximas e mínimas) para as oito cidades e suas respectivas zonas bioclimáticas

no Brasil. As informações climáticas são caracterizadas pelos valores horários de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e pela velocidade média do vento predominante; nos dias típicos de projeto para o período de verão e de inverno. Esses dias são caracterizados em função de suas frequências de ocorrência e são considerados para um período de 10 anos. Adota-se a frequência de ocorrência de 10% tanto para o dia típico de verão como para o dia típico de inverno (AKUTSU, 1998).

Tabela 1 – Zonas Bioclimáticas (ZB), cidades e a temperatura máxima e mínima nos dias típicos de verão e inverno

Zonas Bioclimáticas	Cidades	Dia típico de verão			Dia típico de inverno		
		Data	Tmáx. (°C)	Tmín. (°C)	Data	Tmáx. (°C)	Tmín. (°C)
ZB-01	Curitiba (PR)	7/12	33	18	16/07	16	0
ZB-02	Santa Maria (RS)	7/06	26	12	27/06	13	-1
ZB-03	Belo Horizonte (MG)	14/01	34	23	20/05	25	9
ZB-04	Brasília (DF)	12/10	34	19	14/06	24	4
ZB-05	Niterói (RJ)	10/01	36	25	23/08	21	13
ZB-06	Campo Grande (MS)	17/09	36	24	17/05	12	4
ZB-07	Porto Nacional (TO)	4/03	43	22	9/02	35	3
ZB-08	Manaus (AM)	9/09	35	28	2/11	31	20

3.3 Caracterização das geometrias de cobertura e dos materiais do modelo analisados

Para a análise comparativa do desempenho térmico de coberturas metálicas foram identificadas soluções construtivas mais utilizadas em galpões estruturados em aço, sendo selecionadas sete configurações geométricas de telhado com mesmo volume, 840 m³ (Figura 1 a 7).

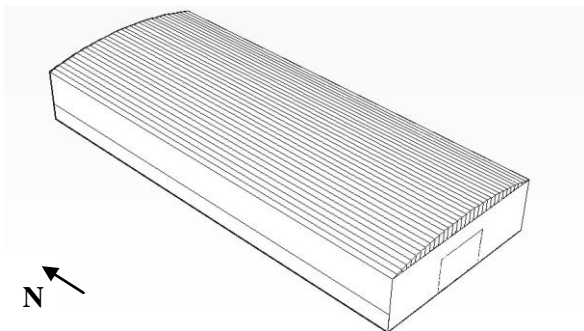


Figura 1: Telhado curvo

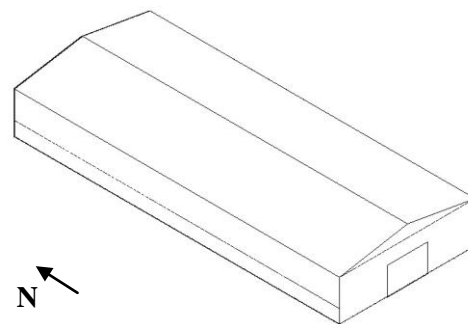


Figura 2: Telhado em duas águas

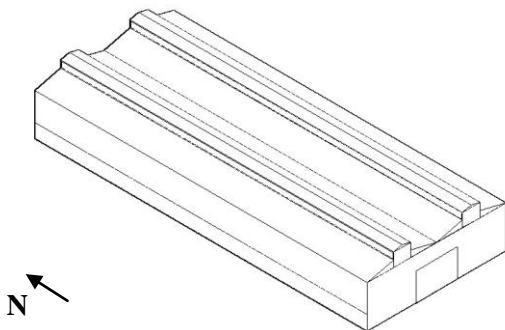


Figura 3: telhado com lanternim duplo

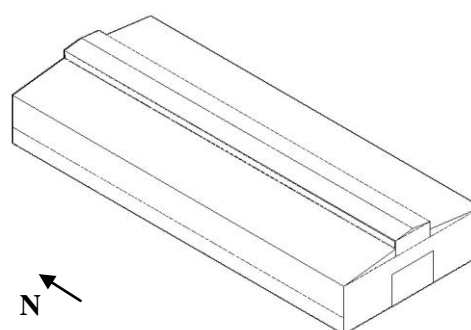


Figura 4: Telhado com lanternim simples

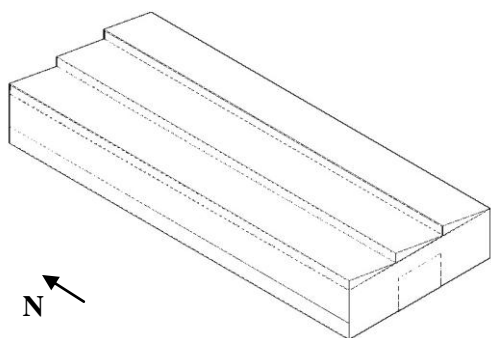


Figura 5: Telhado em *shed* longitudinal

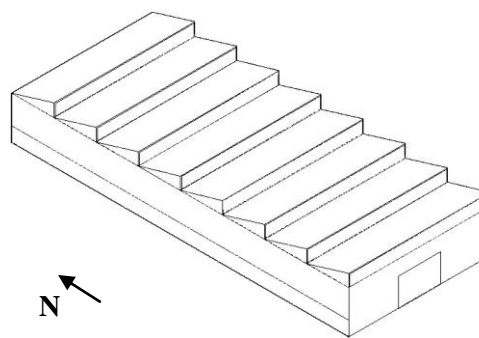


Figura 6: Telhado em *shed* transversal

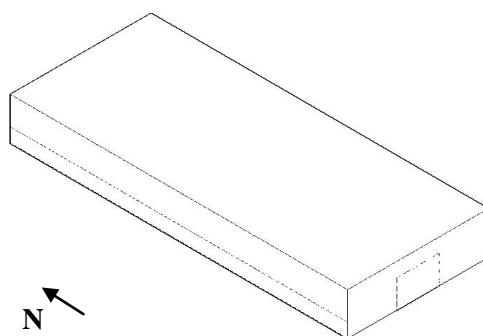


Figura 7: Telhado plano

Para o modelo de galpão avaliado optou-se por uma edificação retangular de 20 x 48 m com um pavimento e pé direito de 6 m. Sua estrutura possui pórticos planos, com perfis de alma cheia, espaçados a cada 6 m. Para os materiais de construção utilizou-se: piso em concreto, fechamentos em bloco celular e argamassa, portas em aço galvanizado, janelas em vidro simples e cobertura em telha termoacústica.

Na tabela 2 apresentam-se os materiais construtivos e suas propriedades termofísicas adotados nas simulações, baseadas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Tabela 2 - Propriedades termofísicas dos materiais adotadas nas simulações

Propriedades/materiais	Concreto	Bloco celular	Argamassa	Aço Galvanizado	Poliestireno
Condutividade (W/m.K)	1,75	0,16	1,15	55,0	30,0
Massa específica (kg/m ³)	2.400	650	2.100	7.800	0,04
Calor específico (J/kg.K)	1.000	963	1.000	460,0	35,0
Coefficiente de absorção	0,65	0,4	0,3	0,2	1.420

3.4 Caracterização do perfil de ocupação

Em relação ao perfil de ocupação, não foram consideradas fontes internas de calor, visto que a intenção principal do estudo é analisar o comportamento térmico global da edificação frente às condições climáticas externas.

A ventilação natural foi simulada pelo módulo *AirflowNetwork* integrado ao programa *EnergyPlus*. Este módulo calcula o fluxo de ar entre zonas e o exterior, através de frestas e janelas. Para o cálculo são determinados os parâmetros de simulação do fluxo do ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação. Os dois últimos são controlados por meio de *schedule* (rotinas) de abertura e disponibilidade de ventilação, respectivamente. Para o cálculo são necessários dados de coeficiente de pressão que podem ser inseridos pelo usuário ou calculados, para edifícios retangulares, pelo programa.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a avaliação do desempenho térmico das coberturas metálicas foi realizado um estudo das temperaturas internas dos ambientes, considerando a resposta global da edificação, por meio de simulação numérica no *software Energy Plus*, para duas condições climáticas distintas, o dia mais quente e mais frio do ano, em oito cidades, representando as oito zonas bioclimáticas definidas pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). As cidades são: Belo Horizonte, Brasília, Campo Grande, Curitiba, Santa Maria, Manaus, Niterói e Porto Nacional, cujos dados climáticos são fornecidos pelo programa computacional por meio de pastas climáticas.

Nas figuras de 1 a 16, apresentam-se em escala horária as curvas de temperatura do ar interno no galpão, comparando-se os efeitos das diferentes geometrias de coberturas metálicas avaliadas, o histograma de temperatura do ambiente externo e uma faixa de conforto sugerida pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004).

Tem-se nas figuras 1 e 2 os resultados das simulações para o município de Belo Horizonte (MG) (ZB-03). Seu clima é caracterizado predominantemente por invernos amenos e secos e verões quentes e chuvosos, com temperatura média anual de 21,8 °C. A média de umidade relativa é de 65% com média de chuva de aproximadamente 1500 mm/ano.

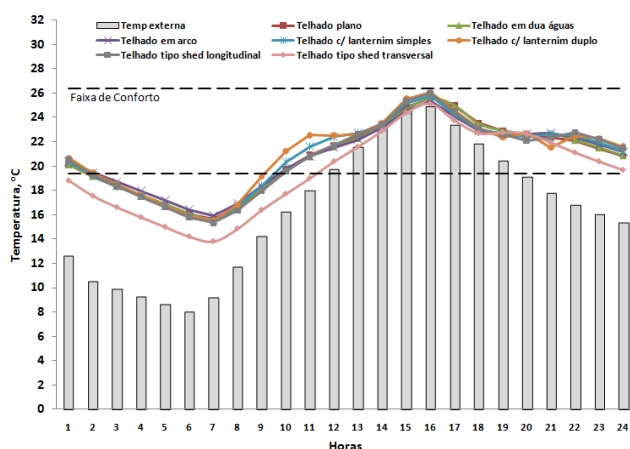


Figura 1 - Evolução temporal da temperatura interna e externa - dia mais frio em Belo Horizonte (MG).

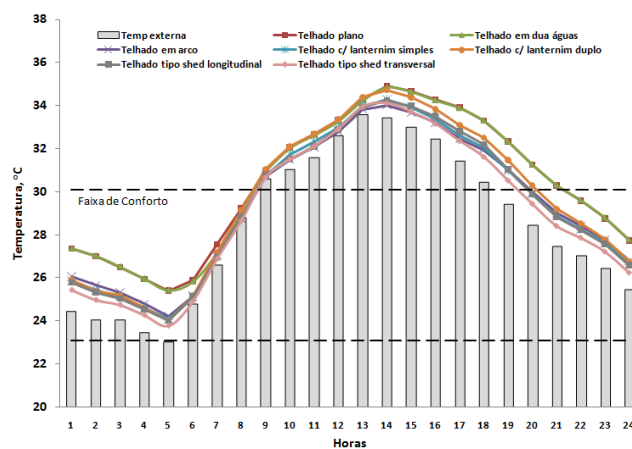


Figura 2 - Evolução temporal da temperatura interna e externa - dia mais quente em Belo Horizonte (MG).

Para esta condição climática (ZB-03) observa-se nos resultados que todas as diferentes configurações de coberturas apresentaram comportamento térmico semelhante. Para a condição climática de inverno, dia mais frio do ano, alcança-se a condição de conforto em grande parte do dia, ficando abaixo apenas em parte do período noturno. Já em relação à condição climática do dia mais quente do ano as temperaturas ficam fora da faixa de conforto ao longo do período diurno. Este comportamento pode ser explicado pela alta inércia térmica do aço e por ser a cobertura o componente que mais recebe radiação solar durante o dia.

Quando comparados os desempenhos térmicos das diferentes tipologias de cobertura, os resultados apontam um melhor desempenho para o telhado tipo *shed* transversal, para a situação climática de verão (Figura 2) e lanternim duplo para a de inverno (Figura 1), aproximando-se mais da zona de conforto. O melhor desempenho para as duas situações deve-se a presença de aberturas nas faces verticais do telhado, oito aberturas para o *shed* transversal e quatro para o lanternim duplo. Estas aberturas facilitam a ventilação natural do ambiente, estabelecendo trocas de ar entre o meio externo e interno.

Nas figuras 3 e 4 são apresentados os resultados das simulações para o município de Brasília (DF) e nas figuras 5 e 6 para o município de Campo Grande (MS), zonas bioclimáticas 4 e 6, respectivamente. O clima de ambas as cidades é caracterizado por duas estações bem definidas: invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. Em Brasília, a temperatura média anual é de 21 °C e a média de umidade relativa é de 75% podendo chegar a 20% no inverno.

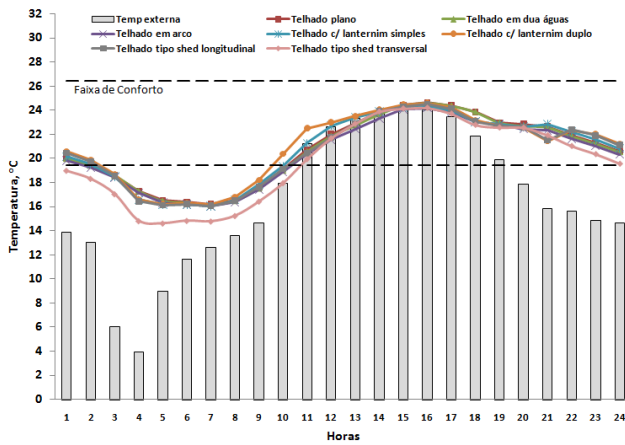


Figura 3 - Evolução temporal da temperatura interna e externa- dia mais frio em Brasília (DF).

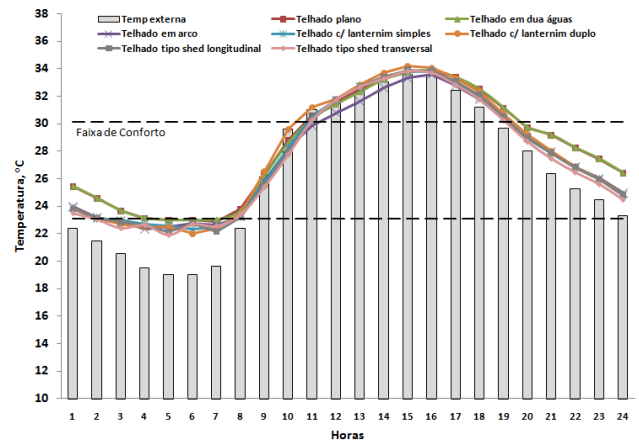


Figura 4 - Evolução temporal da temperatura interna e externa- dia mais quente em Brasília (DF).

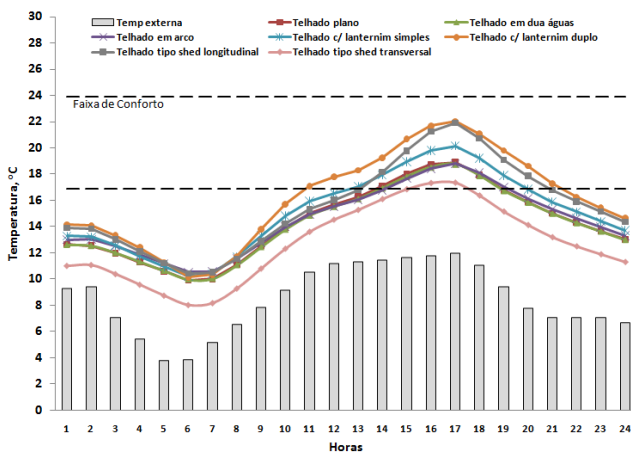


Figura 5 - Evolução temporal da temperatura interna e externa- dia mais frio em Campo Grande (MS).

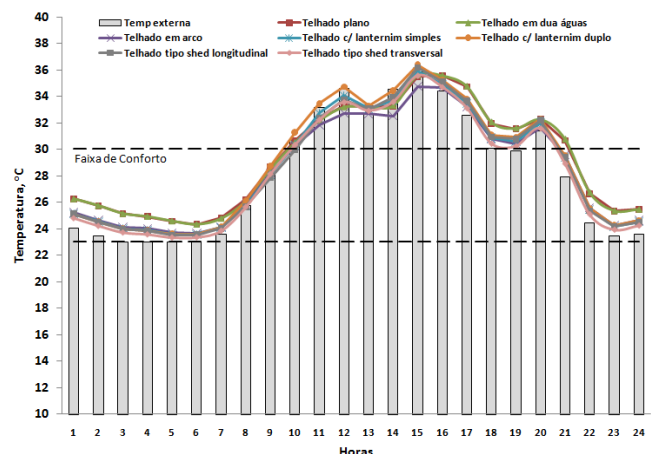


Figura 6 - Evolução temporal da temperatura interna e externa- dia mais quente em Campo Grande (MS).

As zonas bioclimáticas 4 e 6 (Figuras de 3 a 6) apresentam resultados semelhantes quanto ao desempenho térmico das tipologias de coberturas, nas duas situações climáticas, dia mais quente e mais frio do ano. Observa-se um melhor desempenho telhado curvo no dia típico de verão e da cobertura com lanternim duplo no dia típico de inverno. O bom desempenho do telhado curvo deve-se à geometria da cobertura que possibilita a incidência de radiação solar em dias frios em várias direções e também a uma maior eficiência do mecanismo de convecção de calor interno em dias quentes.

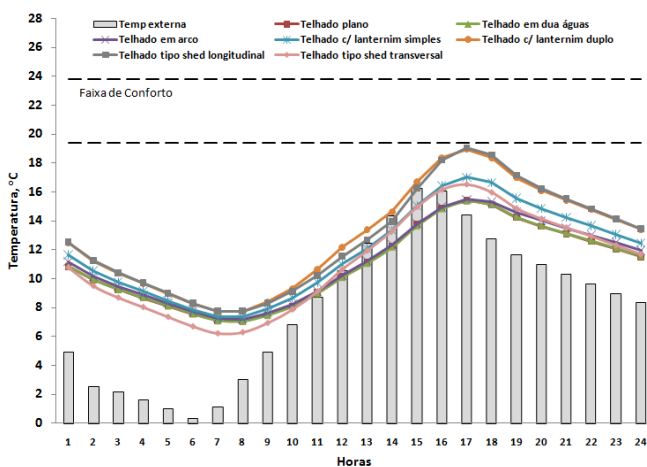


Figura 7 - Evolução temporal da temperatura interna e externa- dia mais frio em Curitiba (PR).

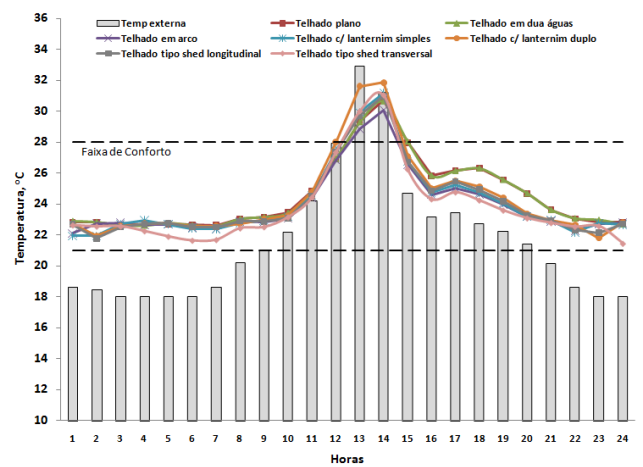


Figura 8 - Evolução temporal da temperatura interna e externa- dia mais quente em Curitiba (PR).

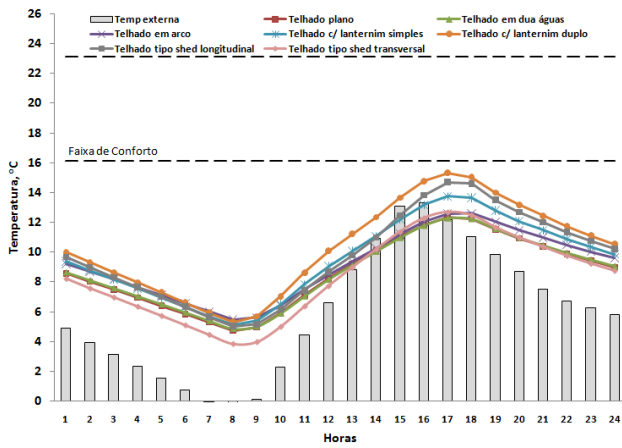


Figura 9 - Evolução temporal da temperatura interna e externa - dia mais frio em Santa Maria (RS).

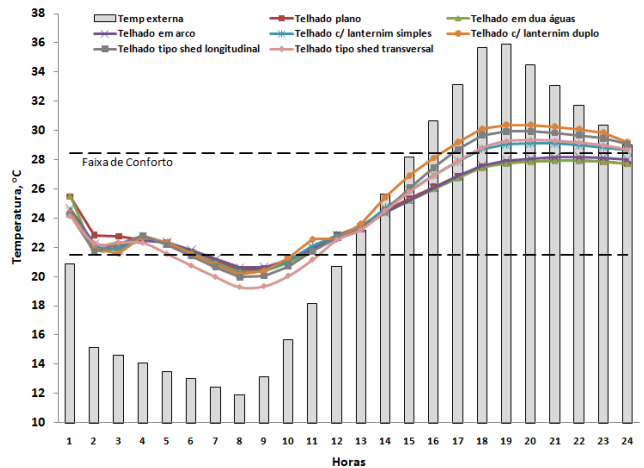


Figura 10 - Evolução temporal da temperatura interna e externa - dia mais quente em Santa Maria (RS).

Nas figuras 7 e 8 apresenta-se os resultados das simulações para o município de Curitiba (PR), zona bioclimática 01. Seu clima é caracterizado por invernos amenos e úmidos com temperatura média de 13 °C no mês mais frio e no verão, a temperatura média fica em torno de 21 °C.

Nas figuras 9 e 10 apresentam-se os resultados das simulações para o município de Santa Maria (RS) (ZB-02). Seu clima é caracterizado por baixas temperaturas anuais, verões úmidos e invernos secos.

Nestas zonas bioclimáticas (ZB-01 e ZB-02), no dia mais frio do ano, as temperaturas internas estão totalmente fora da faixa de conforto, no entanto, duas configurações geométricas proporcionaram uma melhoria no conforto da edificação: o lanternim duplo e o *shed* transversal. No dia mais quente do ano, quando comparados os resultados do desempenho térmico das diferentes tipologias de cobertura em relação ao limite das temperaturas de conforto, os resultados apontaram um melhor desempenho dos telhados sem aberturas para ventilação natural (Telhado plano, curvo e de duas águas).

A justificativa mais adequada para explicar o melhor desempenho das coberturas com sistema de ventilação, mesmo no dia mais frio do ano, é a influência do transporte de calor e das interações dinâmicas de outras variáveis climáticas, como a vento e a umidade presente na atmosfera, sobre a temperatura interna do ambiente.

Nas figuras 11 e 12, apresentam-se os resultados das simulações para o município de Manaus (AM) (ZB-08). Seu clima é caracterizado por temperaturas quente o ano todo, sem períodos de frio no inverno. Temperatura média anual de 33,9 °C e úmida relativa de 76%.

Nas figuras 13 e 14 apresentam-se os resultados das simulações para o município de Porto Nacional (TO) (ZB-07). Seu clima é caracterizado por temperaturas elevadas no verão e amenas no inverno, reduzida amplitude térmica e duas estações bem definidas no ano: úmida e menos úmida.

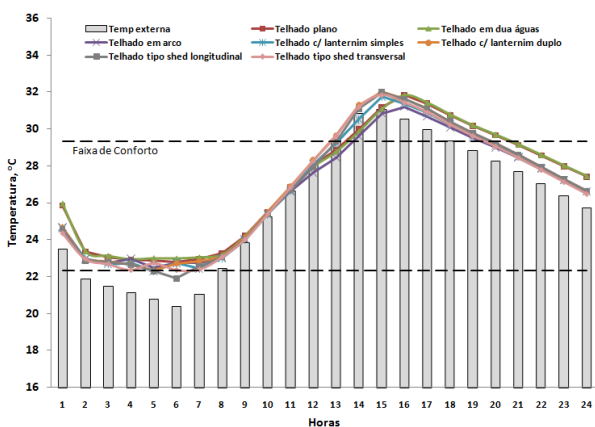


Figura 11 - Evolução temporal da temperatura interna e externa - dia mais frio em Manaus (AM).

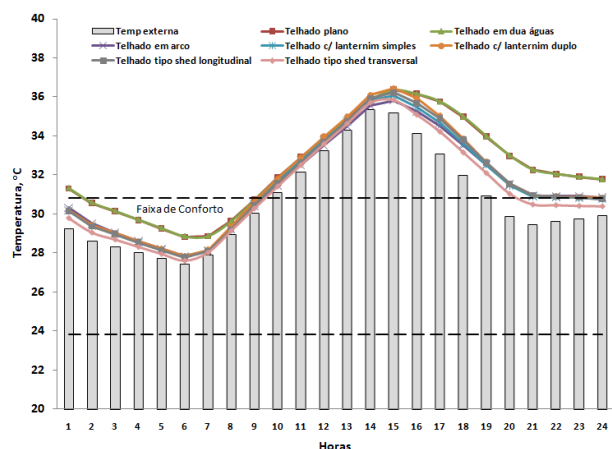


Figura 12 - Evolução temporal da temperatura interna e externa - dia mais quente em Manaus (AM).

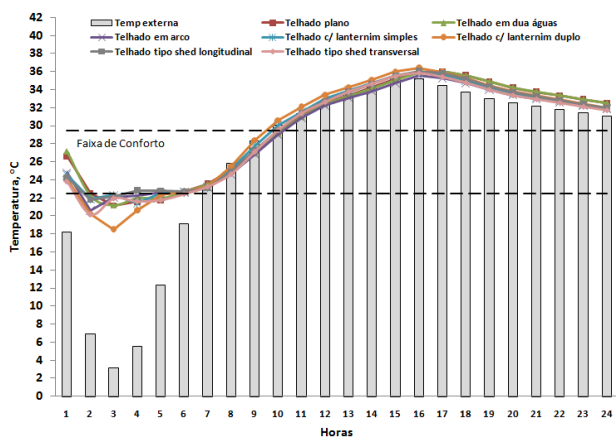


Figura 13 - Evolução temporal da temperatura interna e externa-dia mais frio em Porto Nacional (TO).

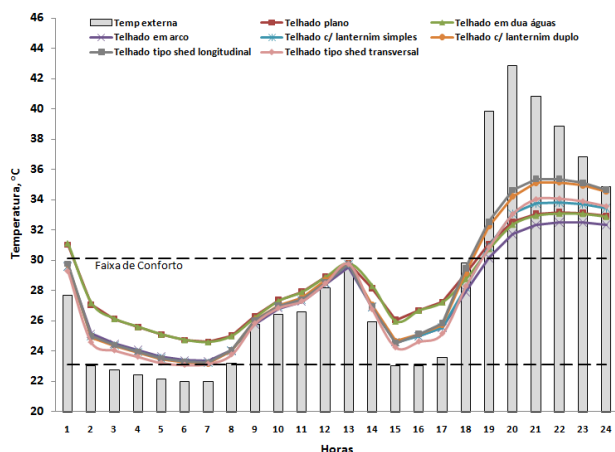


Figura 14 - Evolução temporal da temperatura interna e externa-dia mais quente em Porto Nacional (TO).

Observa-se pelos resultados (Figuras de 11 a 14), comparando-se o desempenho térmico dos galpões com diferentes tipologias de cobertura, que as coberturas em *shed* transversal apresentam melhores resultados, nas duas situações climáticas, nas duas regiões bioclimáticas (ZB-08 e ZB-07). As altas temperaturas e umidade são atenuadas pelo maior número de aberturas na cobertura que auxiliam na ventilação natural da edificação.

Nas figuras 15 e 16 apresentam-se os resultados das simulações para o município de Niterói (RJ) (ZB-05). Seu clima é caracterizado por verões quentes e invernos moderados. Temperatura média de 22,6 °C com ausência de estações secas, apenas reduzindo as chuvas no inverno.

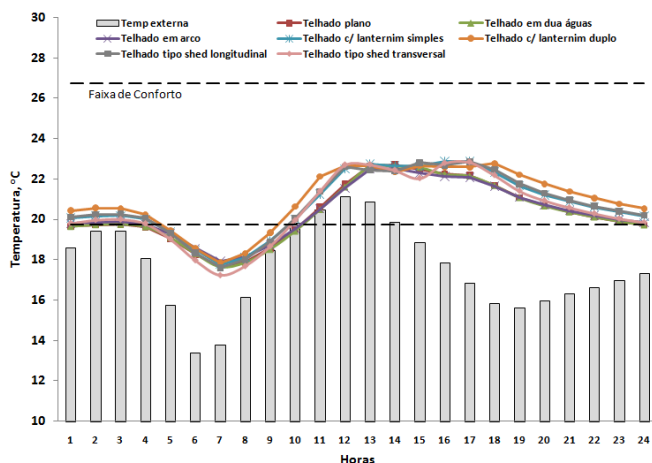


Figura 15 - Evolução temporal da temperatura interna e externa-dia mais frio em Niterói (RJ).

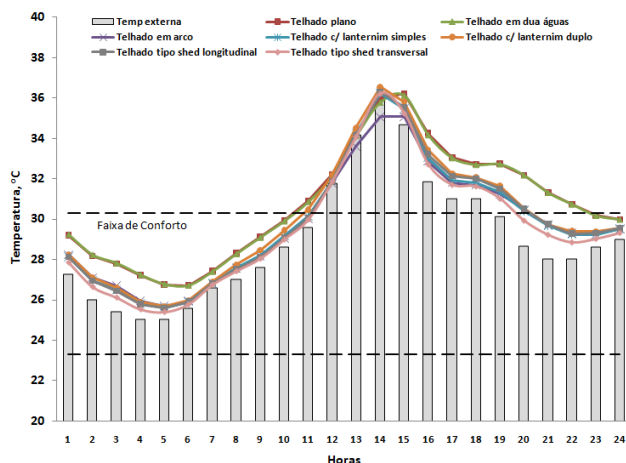


FIGURA 16 - Evolução temporal da temperatura interna e externa-dia mais quente em Niterói (RJ).

Quando comparado o desempenho térmico dos galpões com diferentes tipologias de cobertura o telhado tipo *shed* transversal apresenta melhores resultados no dia mais quente do ano (Figura 15) e o telhado em lanternim duplo no dia mais frio do ano (Figura 16). Deve-se a este fato ao maior número de aberturas nas coberturas atenuando às altas temperaturas médias e a baixa amplitude térmica anuais, aproximando-se, nestes casos, mais da zona de conforto.

No geral, o galpão com coberturas compostas por lanternim duplo apresentou melhor desempenho térmico para quase todas as regiões bioclimáticas, nos dias típicos de inverno, exceto para as cidades de Manaus e Porto Nacional, onde a coberturas em *shed* transversal mostrou-se mais eficiente, devido principalmente a temperatura e umidade elevadas destas cidades durante todo o ano.

No quadro 1 relaciona-se as coberturas que apresentaram melhor desempenho térmico, para as duas condições climáticas analisadas.

Quadro 1 – Desempenho térmico das coberturas em função da condição e zona climáticas.

Cidades	Coberturas com melhor desempenho térmico	
	Dia típico de verão	Dia típico de inverno
Belo Horizonte (MG)	Telhado em <i>shed</i> transversal	Telhado com lanternim duplo
Brasília (DF)	Telhado curvo	Telhado com lanternim duplo
Campo Grande (MS)	Telhado curvo	Telhado com lanternim duplo
Curitiba (PR)	Telhado curvo	Telhado com lanternim duplo
Manaus (AM)	Telhado em <i>shed</i> transversal	Telhado em <i>shed</i> transversal
Niterói (RJ)	Telhado em <i>shed</i> transversal	Telhado com lanternim duplo
Porto Nacional (TO)	Telhado em <i>shed</i> transversal	Telhado em <i>shed</i> transversal
Santa Maria (RS)	Telhado curvo	Telhado com lanternim duplo

5. CONCLUSÕES

Não é possível definir um único telhado como sendo o mais eficiente para todas as situações climáticas, comprovando a afirmativa que um mesmo volume de espaço interior com geometrias de coberturas diversas apresenta comportamentos térmicos globais diferentes, dependendo do local onde a construção está inserida.

As diferenças de comportamento térmico entre as diversas geometrias de cobertura analisadas intensificam-se quando combinadas com aberturas que auxiliam na ventilação natural do ambiente. Estas aberturas proporcionam a renovação do ar, podendo ocasionar ganho ou perda de calor, dependendo da diferença entre a temperatura do ar interno e externo.

De forma geral, pode-se concluir que entre as coberturas sem aberturas para ventilação, a tipologia em arco foi a de melhor desempenho e que mais se aproximou da faixa de conforto nas condições climáticas de verão, sendo mais eficiente que o telhado plano e o de duas águas. Atribui-se a este resultado a influência da inclinação do telhado sobre o condicionamento térmico ambiental no interior da edificação, quanto maior a inclinação menor a influência da radiação na temperatura interna e melhor a circulação de ar na edificação por diferença de pressão. O telhado em arco apresenta-se mais eficiente termicamente, pois sua geometria exige grandes raios de curvatura, favorecendo as trocas térmicas por convecção.

Para o telhado que utiliza a ventilação natural como estratégia de resfriamento, por meio do efeito chaminé, pode-se considerar que em dias quentes, a cobertura *shed* transversal foi o que apresentou melhor desempenho térmico e em dia frio foi o telhado com lanternim duplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- AKUTSU, Maria. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. Tese (Doutorado em Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1998.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSY/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2004. 26p
- BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em Aço: projeto e cálculo**. São Paulo: Pini, 2006.
- NOGUEIRA, G. S. **Avaliação de Soluções Estruturais para Galpões Compostos por Perfis de Aço Formados a Frio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto, 2009.
- PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica** - Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2006.
- RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Luzzatto Editores, 1986.
- SILVEIRA, W. J. **Habituação de interesse social em Florianópolis (SC): Critério para definição de cobertura**. In: Encontro Nacional sobre Tecnologia no Ambiente Construído, Porto Alegre, 2004.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPEMIG e da CAPES.