

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS CONVENCIONAIS E SUSTENTÁVEIS EM BELÉM-PA

Ricardo Bentes Kato (UFPA - Universidade Federal do Pará) E-mail: ricardokato@ufpa.br
Gabriel de Amorim Lima E-mail: gabrielvbal@yahoo.com.br

Resumo: Este artigo comparou o desempenho térmico em ambientes internos e a retenção de energia dos sistemas construtivos de coberturas convencionais e sustentáveis, comparando dez tipos de tecnologias construtivas, submetidas à incidência solar em dez bairros da cidade de Belém (PA). A metodologia utilizou algébrica-computacional de equações propostas nas literaturas de termodinâmica aplicada para traçar uma análise comparativa entre os dados coletados. Observou-se que as técnicas de construção de coberturas sustentáveis se sobressaíram as dos modelos convencionais nos quesitos de temperatura interna e retenção energética.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Tecnologia da Construção. Coberturas Sustentáveis.

COMPARATIVE STUDY OF CONVENTIONAL AND SUSTAINABLE ROOFS THERMAL ACTING IN BELÉM-PA

Abstract: This article compared the thermal performance in indoor environments and the energy retention of conventional and sustainable roof construction systems, comparing ten types of construction technologies, subjected to solar incidence in ten neighborhoods of the city of Belém (PA). The methodology used computational algebraic equations proposed in the applied thermodynamic literature to draw a comparative analysis between the collected data. It was observed that the techniques of sustainable roofing construction outperformed those of conventional models in terms of internal temperature and energy retention.

Keywords: Sustainability. Construction Technology. Sustainable Roofs.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de conforto térmico sempre esteve intrínseca à condição humana de habitar. Nesse contexto, o ser humano possui condições fisiológicas específicas que determinam padrões de temperatura e umidade a serem condicionados nas edificações para que se viva com qualidade. Dessa forma, cabe à Bioclimatologia, ao Conforto Ambiental e à Tecnologia da Construção a necessidade de verificação e avaliação desses desempenhos térmicos, de modo a utilizar os avanços tecnológicos da humanidade como ferramenta para se obter construções mais saudáveis e adaptadas ao clima no qual o ser humano se situa (OLGYAY, 1968).

Atualmente, nota-se que a maioria das cidades, especialmente brasileiras, a verticalização dos seus sítios urbanos configurou condições térmicas críticas aos seus habitantes. Nesse contexto, Belém (PA), a maior cidade da Amazônia, possui uma concentração de edificações verticalizadas na região central da cidade, o que intensifica o desconforto térmico das populações de classe média e alta. Já nas periferias, a falta de vegetação eleva a temperatura, o que, somada à incorreta especificação de materiais construtivos, acaba por intensificar os padrões térmicos na região (OLIVEIRA, 1992).

Em razão disso, fundamentos da Construção Sustentável emergem como solução ao desempenho ambiental insuficiente das edificações. Nesse cenário, um dos princípios sustentáveis mais aplicáveis à realidade da capital paraense é a correta especificação de materiais, cujas características técnicas sejam melhor adaptáveis às condições bioclimáticas

da região (ALMEIDA, 2010). Dessa forma, pode-se, então, obter construções cuja qualidade do ambiente construído seja compatível com as exigências humanas de conforto.

A principal função da cobertura em uma edificação é a proteção do ambiente interno contra intempéries externas – como sol e chuva, além de influenciar diretamente no condicionamento térmico do espaço (MOLITERNO, 1981). Diante disso, Machado et al (2003) afirmam que a cobertura é a componente da envoltória¹ mais suscetível a flutuações térmicas, devido a exposição direta à radiação solar. Dessa forma, a temperatura interna dos ambientes tende a atingir índices térmicos elevados durante o dia, dependendo da região onde a edificação se localiza (MASCARÓ, 1992).

De acordo com a NBR 15220 (2003) – Desempenho térmico de edificações – existem três formas de propagação do calor: condução, convecção e radiação. A condução é o processo de transmissão por partículas, através da agitação atômico-molecular, sendo possível de se estabelecer apenas em meios materiais (HALLIDAY, 2009). Já a convecção é a transferência térmica através do trânsito de partículas, sendo de características dos fluidos (PERALTA, 2006). Por fim, a radiação, ou irradiação, é o processo de troca térmica por meio da emissão e/ou absorção de faixas eletromagnéticas, sendo a única forma de transmissão no vácuo, já que ela independe do meio material para se propagar (HALLIDAY, 2009).

Dessa forma, quase todas as trocas térmicas entre a edificação e o meio ambiente ocorrem por convecção e radiação. Dessa forma, uma das variáveis que avalia essa mecânica térmica é o fluxo de calor (q) ou ganho de calor solar, como descrito por Peralta (2006). Segundo a autora, este índice pode ser utilizado para se verificar a taxa de calor penetrante por metragem quadrada da interface. Por essa lógica, Silva Jr. et al (2013) evidenciam o Índice de Calor (IC) como derivado do índice humidex, desenvolvido por George Winterling em 1978 e posteriormente adaptado à luz do trabalho de Steadman, de 1979. Nesse contexto, o IC foi desenvolvido para medir o quanto de calor o corpo humano sente de acordo com determinados valores de temperatura e umidade do ar, estando o objeto de estudo em sombra e com vento fraco.

Outras propriedades térmicas importantes são a Absortância (α) e a Refletância (ρ). A absortância, ou absortividade, é a propriedade que descreve o poder de absorção de energia pelos materiais. Normalmente, quanto mais escuro for material, maior será seu α . Já a Refletância é a propriedade de reflexão da radiação solar. Desse modo, percebe-se que todos os materiais possuem valores de α e ρ , e que a soma desses dois coeficientes sempre será igual à 1 (PERALTA, 2006).

Além destas propriedades, outro coeficiente é associado à natureza do material: o coeficiente de condutividade térmica, K , medido em $W/m.K$. Tecnicamente, a condutividade térmica é a capacidade do material em transmitir energia térmica. Desse modo, materiais com baixo K têm características isolantes e os que possuem alto K têm características dissipadoras (HALLIDAY, 2009). Já o coeficiente global de transmissão térmica (U), medido em W/m^2K , é a condutividade térmica do material dividida pela espessura (L) do mesmo. Como neste estudo se analisam diversas camadas entre os ambientes externo e interno, pôde ser deduzida a equação de transmissão global do sistema resultante (U_G).

Quanto à intensidade solar incidente na edificação, a mesma depende diretamente da localização geográfica da construção e da inclinação da cobertura em relação à horizontal. Em estudo de Castanheira e Costa (2002), verificou-se que, na cidade do Rio de Janeiro, os edifícios que utilizam telhados com grandes empenas e os que possuem telhados mais inclinados (igual ou acima de 25%) recebem as maiores quantidades de radiação solar. Os autores ainda concluíram que é indiferente, do ponto de vista térmico, o número de águas do telhado se o mesmo possuir baixa inclinação (em torno de 5%).

Essencialmente, existem três tipos de coberturas para edificações: I) Telhado Aparente; II) Telhado Embutido e III) Laje Impermeabilizada. Segundo a ABNT NBR 8039 (1983), telhado é um tipo de cobertura que possui um ou mais planos inclinados em relação ao eixo horizontal. Nesse contexto, verifica-se que o telhado aparente é o modelo de cobertura mais utilizado, no qual as telhas ficam apoiadas em uma estrutura própria, geralmente de madeira, visíveis ao público externo à edificação (VITTORINO et al, 2003).

Quanto ao telhado embutido, o mesmo é mais utilizado em projetos de arquitetura contemporânea, dando à edificação maior liberdade de volumetria na fachada (KNIES et al, 2014). De acordo com Fedrizzi e Kuhn (2006), a necessidade de utilizar cada metro quadrado do edifício possibilitou ao mercado a utilização das lajes impermeabilizadas, que são coberturas que não utilizam telhas tampouco possuem elevadas inclinações. Porém, é necessário maior atenção aos processos de execução de impermeabilização da mesma, para que ela não sofra deterioração por parte da umidade e das variações térmicas (ROLIM e ALLEM, 2016).

Por esse aspecto, ainda ocorre no setor da construção civil a utilização majoritária de telhas, segundo apontam estudos de Peralta (2006). Quanto à classificação das mesmas, este trabalho se delimitou a analisar o desempenho térmico dos principais modelos convencionais disponíveis no mercado: a) telhas cerâmicas; b) telhas de aço; c) telhas de concreto e d) telhas de fibrocimento, além da laje impermeabilizada. Geralmente, utilizam-se as telhas cerâmicas em residências unifamiliares e as telhas metálicas em galpões. Já as telhas de concreto são mais recentes no mercado e se destacam pela diversificação de modelos existentes, durabilidade e eficiência térmica (se em cores claras). Quanto ao custo/benefício, comumente indica-se a utilização de telhas de fibrocimento, por serem mais leves – demandando de uma estrutura de apoio mais simples (SILVA et al, 2011). Destaca-se que esse tipo de telha é utilizado em telhados embutidos. Já as lajes impermeabilizadas são utilizadas quando se deseja aumentar a metragem útil do imóvel (FEDRIZZI e KUHN, 2006).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2017), a Construção Sustentável é a busca pela redução dos impactos ambientais provocados pelo setor da construção civil, proporcionando edificações mais habitáveis. Dessa forma, a mesma se configura como um processo holístico que visa à manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, consolidando a dignidade humana e a equidade econômica. Sob esse aspecto, Corrêa (2009) e Almeida (2010) apontam que as principais bases que norteiam a Construção Sustentável associam-se às mudanças de conceitos arquitetônicos, proporcionando projetos flexíveis e reduzindo futuras demolições, além da busca pelo uso racional de água, energia e materiais construtivos, somados à adaptabilidade da edificação ao clima local.

Uma das aplicações de técnicas construtivas sustentáveis, executadas no Brasil, são as coberturas sustentáveis. Das suas inúmeras modalidades, as mais conhecidas são: e) Telhados com telhas ecológicas de PET; f) Telhados com telhas sanduíche, g) Telhados brancos; h) Telhados verdes intensivos e i) Telhados verdes extensivos. Sob essa perspectiva, os telhados ecológicos de PET apresentam maior durabilidade do que as telhas tradicionais, além de

apresentar menor carga estrutural à edificação (ALMEIDA et al, 2013). Já as telhas sanduíche, ou termoacústicas, constituem um sistema misto formado por duas chapas de aço inox galvanizadas, preenchidas por material termo isolante (ANDRADE, 2016). Em razão disso, a aplicação da telha termoacústica garante resultados satisfatórios, porém seu custo de implantação é superior ao dos demais modelos disponíveis no mercado.

Por outro lado, se o fator econômico for preponderante na escolha do tipo de cobertura, uma solução viável é a utilização de telhados brancos, de acordo com os estudos de Hosseini e Akbari (2015). Nesse aspecto, a técnica consiste em simplesmente pintar o telhado já existente com tinta acrílica branca, ou, se a construção estiver ainda em fase de projeto, especificar uma telha de coloração esbranquiçada. Givoni (1981) já afirmava que a cor da superfície do material influencia diretamente no desempenho térmico do mesmo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido com o propósito de se avaliar o desempenho térmico de edificações em Belém, a partir do teste de diferentes tipos de coberturas em diferentes bairros da cidade, para assim obter resultados mais coerentes sobre a região. Por esse aspecto, optou-se pelo estudo do desempenho térmico de coberturas em razão delas serem a parte mais vulnerável da construção à incidência térmica solar, fator este preponderante na capital paraense. Para análise, foram escolhidos os seguintes bairros de Belém: Batista Campos, Cruzeiro, Guamá, Jurunas, Marambaia, Nazaré, Pedreira, São Braz, Tapanã e Umarizal. O período de análise correspondeu aos dados bioclimáticos obtidos entre Outubro e Dezembro de 2017, considerando 90 dias de análise. Dessa forma, também foram selecionadas dez tipos de coberturas, sendo cinco convencionais (telhas cerâmicas, metálicas, de concreto, de fibrocimento e lajes impermeabilizadas) e cinco sustentáveis (telhas de PET, telhas sanduíche, telhados brancos, telhados verdes extensivos e intensivos). Assim, testou-se cada tipo de cobertura em cada bairro da cidade, gerando como resultado matrizes 10x10.

Quanto à metodologia empregada, utilizaram-se equações de termodinâmica disponíveis na literatura para se deduzir algebricamente o método de estimativa teórica da temperatura interna e da porcentagem energética retida pelo sistema de cobertura. Salienta-se também o uso de condições de contorno para que se conseguisse verificar os resultados objetivados, em face das condições equacionais naturais demandarem de variáveis que só poderiam ser verificadas se fossem feitos ensaios de campo.

Ressalta-se, assim, a importância deste estudo para a contribuição científica por não haver na literatura métodos que possam estimar a temperatura interna teórica de um ambiente, de forma a considerar apenas um componente construtivo nos processos térmicos envolvidos, no caso, a cobertura. Também se ressalta que neste método não são consideradas a geometria e a composição material do resto do ambiente interno, analisando assim apenas o desempenho térmico do sistema de cobertura como mecanismo de proteção térmica. Por fim, salienta-se que o seguinte método poderá apresentar falhas de aproximação com os resultados experimentais relatados na literatura, em razão da desconsideração de variáveis que só podem ser verificadas experimentalmente, além da ampla faixa de valores encontrados para os coeficientes térmicos propostos pela literatura.

Segundo Alvares et al. (2013), o estado do Pará possui três tipos climáticos (Af, Am e Aw). Nesse contexto, Belém se localiza na região tipo Af – definida como equatorial úmido. Tal classificação caracteriza uma região de altas temperaturas – com médias entre 24°C e 29°C – e de alta [pluviosidade](#), com índices superiores a 2000 [mm](#) de [precipitação](#) anual, atingindo médias mensais superiores a 60 mm durante todo o ano (Companhia Docas do Pará

– CDP, 2016). Ademais, a umidade relativa do ar ultrapassa os 86%, influenciando junto à temperatura na disposição térmica dos ambientes belenenses (Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca – SEAP, 2008).

Nesse cenário, Perdigão (1998) afirmou que a cidade de Belém apresenta tais condicionantes bioclimáticos em decorrência da elevada carga energética recebida anualmente, cerca de 2219 horas de insolação. Assim, associa-se a localização geográfica ao desempenho ambiental da cidade e das edificações que nela se situam. A Tabela 1 caracteriza a climatologia de Belém e região:

Tabela 1 – Climatologia de Belém no período de Outubro a Dezembro de 2017².

Parâmetro Bioclimático	Mínima	Média	Máxima
Temperatura (°C)	23,1°C	28,0°C	36,2°C
Umidade relativa do ar (%)	71%	86%	97%
Insolação (kWh/m ² . dia)	4,52	4,90	5,25
Precipitação mensal (mm)	240	300	360
Velocidade do Vento (m/s)	3,20	4,61	6,30

Fonte: Autores.

Segundo Lima e Moysés (2009), a Região Metropolitana de Belém (RMB) possui uma intensa concentração populacional, o que motiva os seus equipamentos urbanos a serem concentrados. Nesse cenário, a cidade apresenta facilidades, serviços e empregos - principalmente no setor terciário – concentrados em alguns bairros centrais, o que reduz a eficiência ambiental dessas regiões, por meio da ocorrência de ilhas de calor. Todavia, o processo de ocupação da capital paraense moldou as zonas centrais da cidade através de corredores de arborização, fator este que mitiga o desconforto térmico das habitantes ao ar livre.

A Tabela 2 evidencia as coordenadas geográficas de referência de cada bairro analisado, o índice de calor dessas regiões, proposto por Silva Jr et al (2013), além da classe social predominante em cada área:

Tabela 2 – Caracterização Socioambiental dos bairros de Belém

Bairro	Latitude (S)	Longitude (W)	Índice de Calor	Classe Social predominante ³
Batista Campos	-1.461	-48.490	29,3°C	S
Cruzeiro ⁴	-1.293	-48.484	28,8°C	MI
Guamá	-1.467	-48.465	29,0°C	O
Jurunas	-1.472	-48.493	29,8°C	O
Marambaia	-1.402	-48.454	29,3°C	P
Nazaré	-1.454	-48.485	28,7°C	S
Pedreira	-1.426	-48.471	29,4°C	P
São Braz	-1.451	-48.469	28,5°C	S
Tapanã	-1.343	-48.479	28,8°C	PO

Umarizal	-1.446	-48.4879	29,3°C	S
----------	--------	----------	--------	---

Fonte: Silva e Jr (2013) (adaptado).

O método consiste na análise da temperatura interna estimada (t_{int}) e da eficiência de retenção térmica do sistema ($q_G\%$) de diferentes tipos de coberturas, convencionais e sustentáveis. Isso foi possível por meio da construção algébrica de equações propostas por Roriz (2001), Ozisk (1990), De Dear e Brager (2002), Peralta (2006), Batista et al (2011) e Walton (1983).

Dessa forma, considerou-se como variáveis do método a capacidade absorptiva dos materiais das coberturas (α , adimensional), o coeficiente global de transmissão térmica dos materiais (U , medido em W/m^2K), o coeficiente de condutância térmica superficial externa (h_c , medido em W/m^2K), a incidência solar submetida ($P_{m\acute{a}x}$, medida em W/m^2) e a variação de temperatura entre os ambientes externo e interno (Δt , em graus Celsius). Para universalizar a análise, a área de verificação (A , em m^2) de cada cobertura foi de $1m^2$.

Ademais, salienta-se que este estudo se limitou a analisar apenas os processos térmicos relacionados à propriedade absorptiva dos materiais constituintes dos sistemas, não cabendo aqui a discussão da influência de suas características emissivas e refletivas. Para simplificar o modelo, propôs-se considerar as coberturas como homogêneas, caracterizando o α das mesmas pelo material constituinte preponderante.

Como foram analisados diferentes tipos de coberturas com diferentes técnicas construtivas, duas hipóteses tecnológicas foram adotadas para que este ensaio se aproximasse de possíveis índices experimentais de temperatura e ganho solar medidos *in loco*. A primeira hipótese considera um sistema de cobertura composto de cobertura, laje e forro, abrangendo assim os sistemas de laje impermeabilizada⁵, telhados vivos extensivos e telhados vivos intensivos. A segunda hipótese considera um sistema construtivo que não dispõe de laje, tendo como sistema de cobertura apenas cobertura e forro.

Para efeitos de simplificação do método, foi considerado apenas um tipo de forro, em gesso, para que se analisasse sumariamente o desempenho das coberturas. Uma terceira hipótese poderia ter sido adicionada a essa análise: um sistema sem laje e sem forro, apenas com cobertura. Todavia, optou-se pela exclusão da mesma para que cada tipo de cobertura possuísse apenas um resultado em relação a cada bairro analisado, de modo a conferir um resultado matricial perfeito.

Por esse aspecto, a primeira variável a ser definida foi a temperatura externa (t_{ext}). Dessa forma, utilizou-se a Equação 01, proposta por Roriz (2001):

$$t_{ext} = t_{min} + K_{th} \cdot (t_{m\acute{a}x} - t_{min})$$

Eq. 1

Nessa equação, as temperaturas críticas (máxima e mínima) registradas na cidade são calculadas em função do fator de ponderação que depende da hora da ocorrência da medição térmica. Por isso, utilizou-se a Tabela 3 de ponderação das temperaturas, também proposta por Roriz (2001):

Tabela 3 – Valores Horários do Fator K_{th}

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
K_t	0,16	0,14	0,10	0,08	0,04	0,02	0,00	0,04	0,14	0,29	0,49	0,68
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
K_t	0,84	0,95	1,00	0,96	0,84	0,68	0,50	0,39	0,31	0,26	0,22	0,20

Fonte: Roriz (2001).

Já quanto à obtenção das temperaturas críticas, consultou-se a base de dados atmosféricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), restringindo o espaço amostral a um intervalo de 90 dias (03 de Outubro a 31 de Dezembro de 2017). A partir dessa amostragem, definiu-se t_{\max} e t_{\min} pelo maior valor verificado para a temperatura máxima e pelo menor valor verificado no horário de referência da temperatura máxima, descritas pelas Equações 2 e 3:

$$t_{\max} = \text{maior} (\sum d_{\max_n} [\text{out, nov, dez}])$$

Eq. 2

$$t_{\min} = \text{menor} (\sum d_{\min_{d_{\max}}})$$

Eq. 3

Como este estudo restringiu-se à pesquisa bibliográfica, verificou-se a impossibilidade de aplicação das soluções algébricas já existentes na literatura quanto ao cálculo da temperatura interna estimada dos ambientes, por necessitarem da utilização de variáveis que são obtidas apenas por experimentações de campo. Desta forma, adotou-se como condição de contorno o princípio de condução de placa simples, proposto por Ozisk (1990) na Equação 4:

$$t_{\text{final}} = t_{\text{inicial}} - \frac{P_{\max} \cdot L_{\text{final}}}{K_{\text{final}} \cdot A}$$

Eq. 4

Segundo esse princípio, a radiação incidente sobre uma superfície opaca é parcialmente retida no sistema, transmitindo parte dessa energia acumulada ao sistema de menor estresse térmico. Com isso, deduziu-se que a temperatura da cobertura S (t_s) é influenciada pela temperatura externa (t_{ext}) e pela potência recebida do ambiente externo (P_{\max}), além da espessura da própria cobertura (L_s) e do coeficiente de condutividade térmica do material (K_s). Assim, o raciocínio é o mesmo para as camadas subsequentes, de modo a temperatura de cada camada depender das propriedades de seus materiais e das propriedades, temperaturas e potências das camadas anteriores. As Equações 5, 6 e 7 descrevem as temperaturas na cobertura (t_s), na laje (t_L) e no forro (t_F), respectivamente:

$$t_s = t_{\text{ext}} - \frac{(1-\alpha_s) P_{\max} \cdot L_s}{K_s \cdot A}$$

Eq. 5

$$t_L = t_s - \frac{(1-\alpha_s) \cdot (1-\alpha_L) \cdot P_{\max} \cdot L_L}{K_L \cdot A}$$

Eq. 6

$$t_F = t_L - \frac{(1-\alpha_s) \cdot (1-\alpha_L) \cdot (1-\alpha_F) \cdot P_{\max} \cdot L_F}{K_F \cdot A}$$

Eq. 7

Nota-se que, nas Equações 5, 6 e 7, são adicionadas as partículas $(1-\alpha_n)$ em razão de parte da potência incidente ser dissipada ao atravessar diversas camadas de materiais. Dessa forma, aquilo que não é absorvido pela camada anterior (α) é transmitido à próxima camada. Já para a transmissão térmica entre o forro e o ambiente interno, será utilizada a Equação 8:

$$t_{int_c/laje} = t_F - \frac{(1-\alpha_S).(1-\alpha_L).(1-\alpha_F).(1-\alpha_{ar}).P_{m\acute{a}x}.L_F}{K_{ar}.A}$$

Eq. 8

Nesse raciocínio, foi utilizada a espessura do forro (L_F) pelo fato de não se ter a mensuração geométrica do ambiente interno. Quanto aos sistemas sem lajes, a diferença consiste que, agora, a transmissão térmica se dá da cobertura direto ao forro. Dessa forma, as Equações 5, 7 e 8 foram substituídas pelas Equações 9 e 10, correspondentes às transmissões térmicas entre cobertura/forro e forro/ambiente interno, respectivamente:

$$t_F = t_S - \frac{(1-\alpha_S).(1-\alpha_F).P_{m\acute{a}x}.L_F}{K_F.A}$$

Eq. 9

$$t_{int_s/laje} = t_F - \frac{(1-\alpha_S).(1-\alpha_F).(1-\alpha_{ar}).P_{m\acute{a}x}.L_F}{K_{ar}.A}$$

Eq. 10

Conhecidos os valores das temperaturas internas estimadas para cada tipo de cobertura em cada bairro analisado, analisou-se então a temperatura neutra. Este conceito foi proposto por De Dear e Brager (2002), e corresponde à temperatura de estabilidade térmica em função das condições externas. Dessa forma, calculou-se a temperatura neutra pela Equação 11:

$$t_{neutra} = 0,31.t_{ext} + 17,8$$

Eq. 11

Diante disso, pôde-se verificar qual cobertura possui o desempenho térmico cuja temperatura interna mais se aproximasse da temperatura neutra, através do cálculo de desvio simples, proposto pela Equação 12:

$$Desvio_{simples} = |t_{int} - t_{neutra}|$$

Eq. 12

Calculada a temperatura interna estimada (Equações 8 e 10) e a sua compatibilidade com índices neutros (Equação 12), era necessário saber quanta energia cada sistema de cobertura poderia reter (q_G). Segundo Peralta (2006), o ganho de calor solar (q) atravessa uma superfície opaca e penetra no interior da construção em função da radiação solar incidente. Assim, pode-se descrever o comportamento do mesmo através da Equação 13:

$$q = \frac{\alpha.U.I}{h_e} + U.\Delta t$$

Eq. 13

Adaptando a Equação 13 para a situação deste estudo, deduziram-se as Equações 14 e 15:

$$q_{G_c/laje} = \frac{\alpha_{G_c/laje}.U_{G_c/laje}.P_{m\acute{a}x}}{h_{eG_c/laje}} + U_{G_c/laje} \cdot \left((t_{ext} - t_{int_c/laje}) + 273,15 \right)$$

Eq. 14

$$q_{G_s/laje} = \frac{\alpha_{G_s/laje} \cdot U_{G_s/laje} \cdot P_{m\acute{a}x}}{h_{eG_s/laje}} + U_{G_s/laje} \cdot \left((t_{ext} - t_{int_s/laje}) + 273,15 \right)$$

Eq. 15

Sendo α_G , U_G e h_{cG} a absorv\ancia, condutividade t\ermica e o coeficiente de condut\ancia dos sistemas com e sem laje, respectivamente. Como a varia\c\ao t\ermica correspondente (Δt) j\aa p\ode ser calculada, foi necess\ario, ent\ao, obter as demais vari\aveis das Equa\c\oes 14 e 15. Como a vari\avel α \e tabelada, a mesma foi obtida atrav\es da consulta em diversos artigos, disserta\c\oes e teses dispon\iveis no peri\odico CAPES. Ressalta-se aqui que poss\iveis discrep\ancias entre os valores de α podem se dar em fun\c\ao da consider\avel quantidade de fontes que utilizam os valores diferentes desse coeficiente. Para se calcular α_G , adotou-se como crit\erio o menor valor de cada interface, nas situa\c\oes com e sem laje. Desse modo, o α_G p\ode ser calculado pelas Equa\c\oes 16 e 17:

$$\alpha_{G_c/laje} = \text{menor} (\alpha_s, \alpha_L, \alpha_F, \alpha_{ar})$$

Eq. 16

$$\alpha_{G_s/laje} = \text{menor} (\alpha_s, \alpha_F, \alpha_{ar})$$

Eq. 17

Como o coeficiente de condut\ancia t\ermica do sistema (U_G) depende das espessuras dos n materiais (L_n) e dos seus n coeficientes de condutividade t\ermica (K_n), tais vari\aveis tamb\em foram obtidas atrav\es de pesquisa bibliogr\afica, podendo seus valores diferir de outros estudos em raz\ao do acervo pesquisado. Para se determin\aa-lo, utilizou-se a Equa\c\ao 18, proposta por Ozisk (1990), considerando um sistema de transmiss\ao em s\erie:

$$U_G = \frac{1}{U_{n-3}} + \frac{1}{U_{n-2}} + \frac{1}{U_{n-1}} = \frac{L_{n-3}}{K_{n-3}} + \frac{L_{n-2}}{K_{n-2}} + \frac{L_{n-1}}{K_{n-1}}$$

Eq. 18

Dessa forma, adaptando a Equa\c\ao 18 para o m\etodo, obteve-se as Equa\c\oes 19 e 20:

$$U_{G_c/laje} = \frac{L_S}{K_S} + \frac{L_L}{K_L} + \frac{L_F}{K_F}$$

Eq. 19

$$U_{G_s/laje} = \frac{L_S}{K_S} + \frac{L_F}{K_F}$$

Eq. 20

J\aa para se determinar h_{cG} , utilizou-se a Equa\c\ao 21, proposta por Batista et al (2011) para superf\icies horizontais e inclinadas est\aveis, desenvolvidas por Walton (1983):

$$h_c = \frac{1,810 \cdot |\Delta T|^{1/3}}{1,382 + |\cos \Sigma \theta|}$$

Eq. 21

Na qual θ \e o \angulo de inclina\c\ao em rela\c\ao \aa horizontal, em graus. Assim, para se determinar o coeficiente de condut\ancia t\ermica superficial global (h_G), tiveram que ser somados todos os coeficientes de condut\ancia de todas as interfaces do sistema. Ressalta-se que para a laje e forro o \angulo de inclina\c\ao foi considerado como 0\°. As Equa\c\oes 22 e 23 descrevem h_G :

$$h_{G_c/la_{je}} = 1,810 \cdot \left[\frac{(t_{ext} - t_s)^{1/3}}{1,382 \cdot \cos \theta_s} + \frac{(t_s - t_L)^{1/3}}{1,382} + \frac{(t_L - t_F)^{1/3}}{1,382} + \frac{(t_F - t_{int})^{1/3}}{1,382} \right]$$

Eq. 22

$$h_{G_s/la_{je}} = 1,810 \cdot \left[\frac{(t_{ext} - t_s)^{1/3}}{1,382 \cdot \cos \theta_s} + \frac{(t_s - t_F)^{1/3}}{1,382} + \frac{(t_F - t_{int})^{1/3}}{1,382} \right]$$

Eq. 23

Assim, a única variável das Equações 14 e 15 que faltam ser verificadas correspondem à potencia incidente, ou $P_{m\acute{a}x}$, medida em W/m^2 . Para se calculá-la, utiliza-se a Equação 24:

$$P_{m\acute{a}x} = 1.000 \times I_R / t_h$$

Eq. 24

Sendo t_h o tempo de incidência em horas e I_R a incidência solar média (em $kWh/m^2.dia$). Desse modo, t_h é 24h, tempo de radiação solar no planeta e I_R o quanto de energia o sol incidiu sobre $1m^2$ de superfície em um dia. Para se obter I_R , definiu-se como critério o maior valor de incidência de energia no período analisado, segundo a Equação 25:

$$I_R = \text{maior} (\sum I [\text{out}, \text{nov}, \text{dez}])$$

Eq. 25

A Intensidade de radiação solar (I) foi obtida por meio de consulta ao banco de dados do CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Como o espaço amostral desse estudo restringiu-se aos últimos 90 dias do ano de 2017, considerou-se apenas a irradiação solar desse período.

Por último, verificou-se a eficiência térmica absorptiva do sistema ($q_G\%$) por meio de quanto o sistema absorveria em relação ao quanto ele era exposto em cada bairro analisado, descrita pela Equação 26:

$$q_G\% = q_G / (P_{m\acute{a}x} \cdot A)$$

Eq. 26

Os valores, analisados em porcentagem, verificam o quanto cada tipo de cobertura pôde reter de calor no próprio sistema, porém não traduzem necessariamente o fato da temperatura interna aumentar proporcionalmente ao ganho térmico do conjunto. Isso porque se mede o ganho do sistema como um todo e não apenas do ambiente interno, que requereria mais variáveis para análise, verificadas experimentalmente.

É importante ressaltar que a análise de desempenho térmico de um ambiente envolve múltiplas variáveis aqui não consideradas (umidade, velocidade do vento, transmissão térmica e espessura das paredes). Todavia, este trabalho objetiva verificar apenas a influência do quanto de calor uma cobertura pode transmitir para o ambiente interno e quanta potência energética pode ser dissipada pelo mesmo. Isso significa que os resultados alcançados podem não refletir com precisão o desempenho térmico real de um ambiente, visto que o mesmo requer uma análise de inúmeras variáveis, além de experimentações em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao utilizar as Equações 24 e 25, gerou-se a Tabela 4, que mostra a incidência solar de cada bairro analisado nos últimos três meses de 2017, além da potência energética emitida pelo ambiente externo aos sistemas de coberturas:

Tabela 4 – Incidência e Potência solar dos bairros de Belém no período de Outubro a Dezembro de 2017 (kWh/m².dia)

Bairro	I _{Out/2017} (kWh/m ² .dia)	I _{Nov/2017} (kWh/m ² .dia)	I _{Dez/2017} (kWh/m ² .dia)	P _{máx/bairro} (W/m ² .h)
Batista Campos	5,25	5,12	4,75	218,75
Cruzeiro	5,13	5,04	4,60	213,75
Guamá	5,25	5,12	4,75	218,75
Jurunas	5,25	5,12	4,75	218,75
Marambaia	5,04	4,90	4,52	210,00
Nazaré	5,25	5,12	4,75	218,75
Pedreira	5,04	4,90	4,52	210,00
São Braz	5,25	5,12	4,75	218,75
Tapanã	5,13	5,04	4,60	213,75
Umarizal	5,04	4,90	4,52	210,00

Fonte: CRESESB (adaptado).

Obtido o valor da potência solar incidente ($P_{máx}$), era necessário então obter os valores das variáveis responsáveis pela determinação do coeficiente de transmissão térmica global (U_G), do coeficiente de condutância térmica superficial global (h_G) e da temperatura interna (t_{int}). Por isso, através de extensa consulta à bibliografia referenciada, obtiveram-se os seguintes valores para o coeficiente de absorvância (α), espessura da cobertura (L), condutividade térmica (K) e inclinação mínima (θ), evidenciados pela Tabela 5:

Tabela 5 – Características das Coberturas Convencionais e Sustentáveis.

Tipo	Superfície	Absortividade (α)	Espessura – L (m)	Condutividade Térmica – K (W/m.k)	Inclinação Mínima (%)	Inclinação Mínima (°)
Coberturas Convencionais	Telhas Cerâmicas ⁶	0,88	0,015	0,20	30%	16,70°
	Telhas Metálicas ⁷	0,85	0,008	52	10%	5,71°
	Telhas de Concreto ⁴	0,86	0,015	0,25	30%	16,70°
	Telhas de Fibrocimento ⁸	0,95 ⁹	0,004	0,1	10%	5,71°
	Laje Impermeabilizada ¹⁰	0,92	0,100	1,20	1%	0,57°

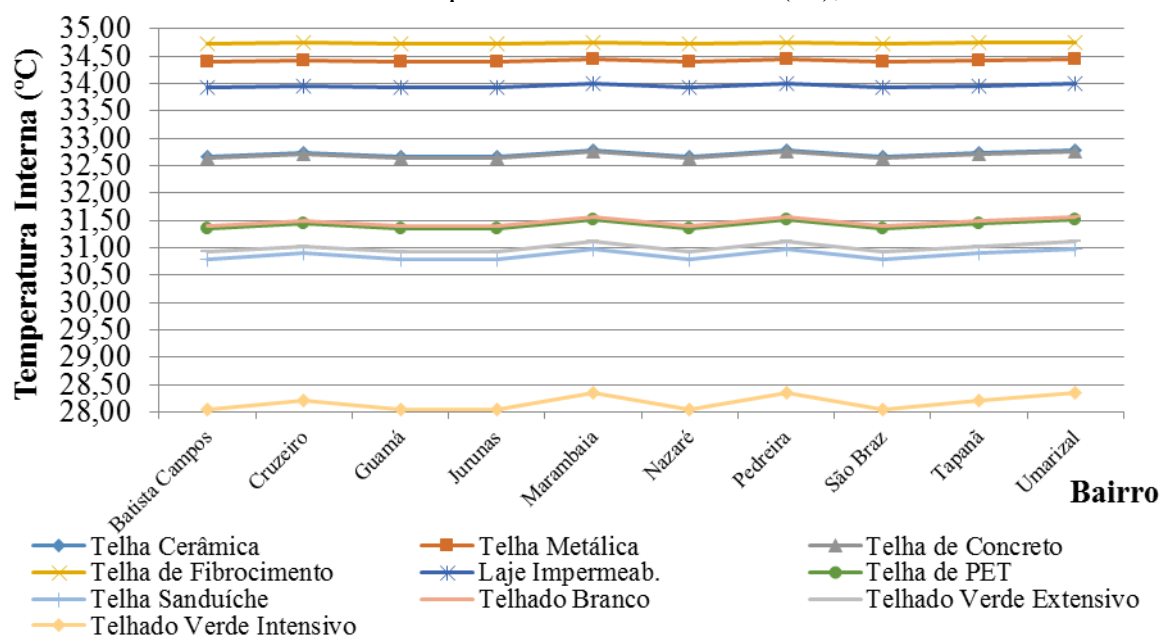
Coberturas Sustentáveis	Telhas de PET ¹¹	0,88 ¹²	0,005	0,04	30%	16,70°
	Telhas Sanduíche	0,92	0,050	0,211	10%	5,71°
	Telhado Branco	0,80	0,015	0,25	30%	16,70°
	Telhado Verde Extensivos ¹³	0,88	0,100	0,60	5%	2,86°
	Telhado Verde Intensivo ¹³	0,90	0,300	0,90	5%	2,86°
Laje	Concreto armado	0,90	0,100	1,75	0%	0°
Forro	Gesso	0,90	0,030	0,35	0%	0°
Ar interno	Ar	0,80	-	0,023	-	-

Fonte: Autores.

Ressalta-se que alguns valores podem sofrer variações em função da bibliografia consultada e da especificação do material. Já para se determinar a temperatura externa (t_{ext}), foi verificado que o horário de 13h ($K_{th}=0,95$) apresentou a maior temperatura entre os meses de outubro a dezembro de 2017, que foi de 36,2°C (Equação 2). Nesse mesmo horário, a menor temperatura verificada foi de 23,1°C (Equação 3). Assim, através da Equação 1 e da Tabela 3, obteve-se a temperatura externa (t_{ext}) equivalente a 35,54°C.

A etapa seguinte consistiu na determinação das temperaturas internas estimadas utilizando as Equações 8 e 10. Com isso, gerou-se o Gráfico 1:

Gráfico 1 – Temperatura interna estimada (t_{int}), em °C.



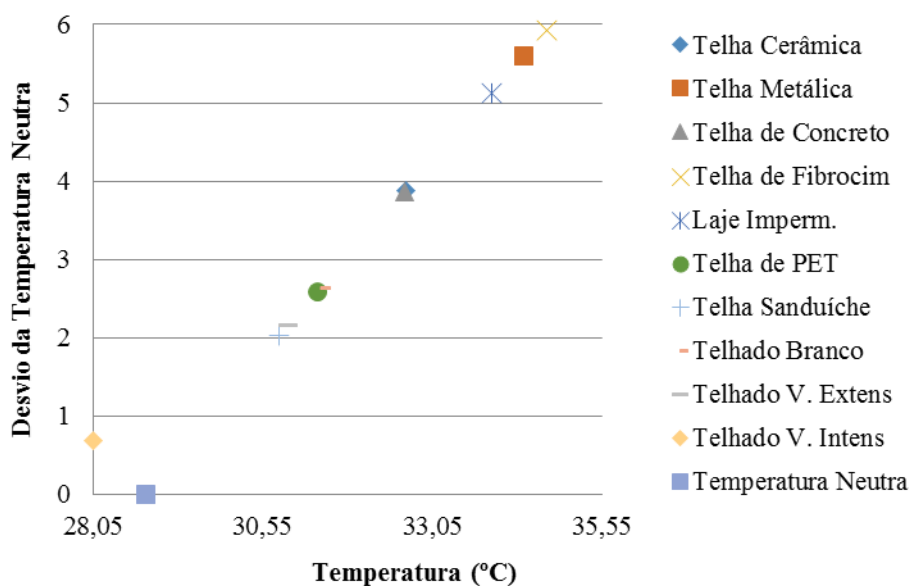
Fonte: Autores.

Como se verifica, a cobertura de telhado verde intensivo obtém as melhores temperaturas internas estimadas (em média, 28,14°C), seguido pelas telhas sanduíche (30,85°C) e pelo telhado verde extensivo (30,98°C). Já os piores desempenhos foram verificados nas telhas de fibrocimento (34,74°C), metálicas (34,42°C) e na laje impermeabilizada (33,94°C).

Nos estudos de Lopes (2007), à uma temperatura externa de 34°C na cidade de São Carlos/SP, a célula teste de cobertura verde obteve o valor de 26,5°C, as telhas de fibrocimento, 29,78°C e a da telha cerâmica, 30,63°C. No ensaio proposto, tais coberturas obtiveram desempenhos diferentes, onde, à temperatura externa de 35,55°C, o telhado verde intensivo marcou 28,14°C; as telhas de fibrocimento, 34,74°C, e as de cerâmica, 32,7°C. Nesse caso, os modelos de cobertura analisados e as características climáticas diferentes (entre Belém/PA e São Carlos/SP), podem ser responsáveis pelas possíveis diferenças de desempenhos entre coberturas, das características do ambiente analisado (como ventilação e influência térmica das paredes) e da especificação do material das telhas.

O próximo fator analisado foi o desvio simples entre as temperaturas internas e o valor da temperatura neutra. Através da Equação 11, verificou-se que a temperatura neutra era de 28,82°C. Com isso, utilizando a Equação 12, obteve-se o desvio da média de cada tipo de cobertura em relação à temperatura neutra, como mostra o Gráfico 2:

Gráfico 2 – Desvio do Desempenho Térmico em relação à temperatura neutra:



Fonte: Autores.

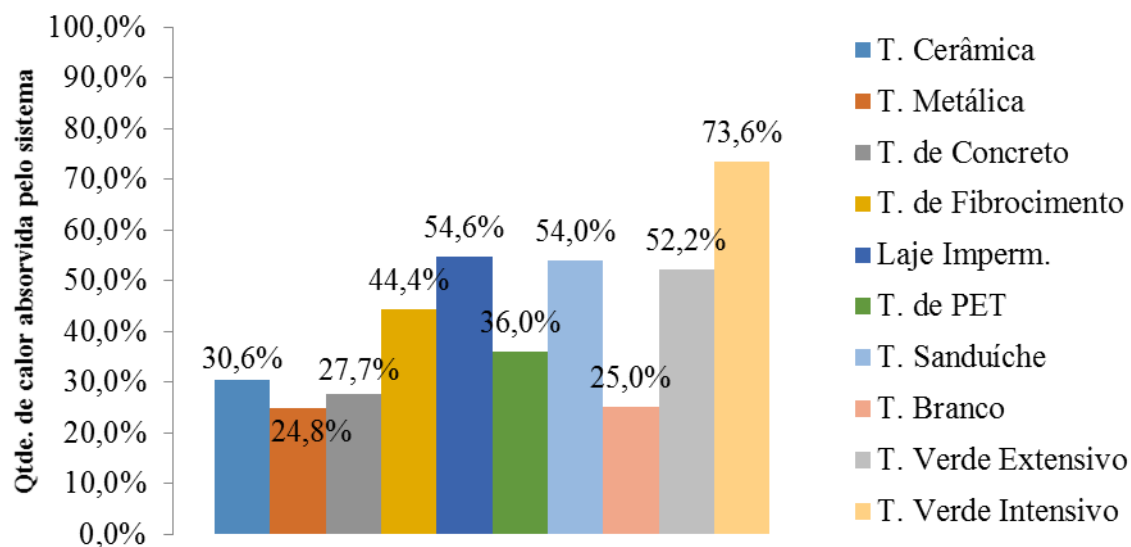
Tendo os valores das temperaturas externa e interna para cada situação, utilizou-se os dados das Tabelas 4 e 5 e nas Equações 16, 17, 19, 20, 22, 23 e 24, de modo a calcular o ganho térmico global do sistema (q_G), pelas Equações 14 e 15, resultando na Tabela 6:

Tabela 6 – Ganho térmico global estimada (q_G), em W/m², para ambientes com cada tipo de cobertura em cada bairro de Belém.

	Batista Campos	Cruzeiro	Guamá	Jurunas	Maramb.	Nazaré	Pedreira	São Braz	Tapanã	Umarizal
Telha Cerâmica	66,09	66,08	66,09	66,09	66,07	66,09	66,07	66,09	66,08	66,07
Telha Metálica	53,69	53,68	53,69	53,69	53,68	53,69	53,68	53,69	53,68	53,68
Telha de Concreto	59,83	59,82	59,83	59,83	59,81	59,83	59,81	59,83	59,82	59,81
Telha de Fibrocim.	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99	95,99
Laje Imp.	118,1	118,1	118,1	118,1	118,1	118,1	118,1	118,1	118,1	118,1
Telha de PET	77,92	77,90	77,92	77,92	77,89	77,92	77,89	77,92	77,90	77,89
Telha Sanduíche	116,8	116,7	116,8	116,8	116,7	116,8	116,7	116,8	116,7	116,7
Telhado Branco	54,13	54,11	54,13	54,13	54,10	54,13	54,10	54,13	54,11	54,10
Telhado Verde Extensivo	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8
Telhado Verde Intensivo	159,1	159,0	159,1	159,1	158,9	159,1	158,9	159,1	159,0	158,9

Fonte: Autores.

Por fim, a análise do Ganho Térmico Global (q_G) foi feita em relação à carga energética recebida do ambiente externo ($P_{m\acute{a}x}$), através da Equação 26. Dessa forma, obteve-se a eficiência térmica da absorvidade dos sistemas ($q_G\%$), por meio do Gráfico 3:

Gráfico 3 – Eficiência termo absorviva média dos sistemas de coberturas em Belém ($q_G\%$).

Fonte: Autores.

Nesse contexto, Oliveira et al (2016) afirmam que os telhados verdes se sobressaem aos outros tipos de coberturas no que concerne o isolamento térmico do edifício. Os autores ainda pontuam que o ciclo de vida dessa cobertura é superior aos dos demais modelos, embora necessite de cuidados periódicos específicos. Já Moraes (2004) afirma que 73% do fluxo de calor incidido é absorvido pelo sistema, informação que esta condiz com os 73,6% de energia retida pelo sistema a partir do teste do método proposto.

Comparando os telhados verdes intensivos às demais coberturas, os sistemas que também reteram boa parte da energia incidente foram a laje impermeabilizada (54,6%) e as telhas sanduiche (54%). Isso pode ser explicado pelo fato desses sistemas possuírem materiais que absorvem uma grande quantidade de energia em sua estrutura (vegetação de médio e grande porte, para os telhados verdes intensivos; concreto e manta asfáltica, para as lajes impermeabilizadas e materiais termoisolantes, para telhas sanduíches). Já os menores resultados foram encontrados nas telhas de metálicas (24,8%), telhados brancos (25%) e telhas de concreto (27,7%). Explicam-se tais desempenhos pela natureza dissipadora de seus materiais, no caso das telhas metálicas, pelo alto índice de refletância, no caso de telhados brancos, e pela coloração superficial de natureza escura, no caso das telhas de concreto.

5 CONCLUSÕES

Com este estudo, inferiu-se que a escolha da cobertura mais adequada para a cidade de Belém permeia as soluções sustentáveis disponíveis no mercado. Dessa forma, a utilização das mesmas condicionaria as edificações belenenses terem condições ambientais mais confortáveis, do ponto de vista térmico. Ressalta-se aqui que um fator preponderante da não utilização em massa desses tipos de coberturas relaciona-se ao fato das coberturas sustentáveis possuírem um custo de implantação maior do que as coberturas convencionais, mérito este não abordado neste trabalho.

Ainda neste estudo, verificou-se que a aplicação do método é válida a partir da consideração de uma série de condições de contorno. Sem isso, torna-se impossível a estimativa da temperatura interna de um ambiente, analisando apenas o aspecto do desempenho térmico da cobertura da edificação. Com isso, sugere-se para trabalhos futuros o melhoramento deste método proposto de forma a incluir mais variáveis na análise, como a influência das câmaras de ar entre interfaces, por exemplo. Além disso, percebeu-se que a localização da construção dentro do mesmo sítio urbano varia em pequenas quantidades no que tange aos resultados finais obtidos. Em trabalhos futuros, este fator poderá ser analisado por cidades, e não por bairros como verificado neste estudo.

Por fim, concluiu-se que é imprescindível a especificação adequada do tipo de cobertura para uma determinada construção, na qual os fatores bioclimáticos deverão ser considerados no momento de escolha do material. Somente assim, poderá se utilizar um ambiente cujo conforto térmico seja mais eficaz, tornando, desse modo, a edificação um espaço de convivência mais saudável.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8039 – Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa**. p 5. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 – Desempenho Térmico de edificações**. p 66. Rio de Janeiro, 2003.

ALMEIDA, A. A. P. **Arquitetura Residencial Multifamiliar baseada em conceitos sustentáveis: Ensaio Projetual à luz dos quesitos da metodologia LEED**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo. 249 p. Vitória, 2010.

ALMEIDA, I. S.; COSTA, I. M. D.; RIBEIRO, M. M. O.; HEINRICH, M.; MOREIRA, Q.; ARAUJO, P. J. P.; LEITE, M. S. **Reciclagem de garrafas PET para fabricação de telhas**. Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas, Sergipe. v. 1. n 17. p. 83-90. Alagoas, 2013.

ALVARES, C. A. et al. **Koppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDRADE, B. F. **Padrões Normativos, experimentais e análise de performance acústica de telhas sanduíches**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. 106 p. Santa Maria, 2016.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. **Influências dos algoritmos de condução e convecção sobre os resultados de simulações do comportamento térmico de edificações**. Periódico Ambiente Construído. V. 11, n 4, p. 79-97. Porto Alegre, 2011.

CASTANHEIRA, R. G.; COSTA, C. E. S. **Influência da geometria do telhado na radiação solar incidente nos edifícios**. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 6 p. Foz do Iguaçu, 2002.

CDP – Companhia Docas do Pará. **Diagnóstico Ambiental do Porto Organizado de Belém**. Ed. única. 10 p. Belém, 2016.

CHING, F. D. K. **Técnicas de construção ilustradas**. Ed. Bookman. 478 p. Porto Alegre, 2010.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na Construção Civil**. Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais. 70 p. Belo Horizonte, 2009.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. **Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: revisions to ASRHAE Standard 55**. Energy and Buildings. v. 34, n. 6, p. 549-561, jul. 2002.

DUFFLE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Process**. 2 ed. John & Sons, 757 p. New York, 1991.

FEDRIZZI, B.; KUHN, E. A. **Percepção dos moradores quanto ao desempenho dos materiais das habitações**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. 10 p. Florianópolis, 2006.

FROTA, A. B. & SCHIFFER, S. **Manual de conforto térmico**. ed 8. 243 p. São Paulo: Nobel, 2003.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ed. London: Applied Science, 1981.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Vol. 2. 8 ed. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2009

HOSSEINI, M.; AKBARI, HASHEM. **Effect of cool roofs on commercial buildings energy use in cold climates.** Energy and Buildings (2015). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.050>> Acesso em 29 Dez. 2017.

ISO-SYSTEMS. **Produtos para Isolamento Térmico e Acústico.** Disponível eletronicamente em: <<http://www.iso-systems.com.br/produtospara-isolamento-termico-acustico-e-impermeabilizacao/isolante-termico-iso-hd1>>. Acesso em 29 Dez. 2017.

KNIES, C. G.; BALDISSERA, G. A.; BRINO, A. C. **Brasil Arquitetura: Casas não urbanas.** III Encontro da Associação de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. 11 p. São Paulo, 2014.

KÖHLER, M.; et al (2001) **Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics- far beyond the aesthetics.** PLEA Proceedings, PLEA. Florianópolis, 2001.

LIMA, J. J. F.; MOYSÉS, A. **Como andam Belém e Goiânia.** Rio de Janeiro: Letra Capital; Observatório das Metrôpoles, 2009.

LOPES, D. A. R. **Avaliação do Comportamento Térmico de Coberturas Verdes Leves (CVLs) Aplicadas aos Climas Tropicais.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Carlos. São Carlos, 2007.

LOUREIRO, V. R.; BARBOSA, J. S. **Cidade de Belém e natureza: uma relação problemática?.** Novos Cadernos do NAEA. V 13, n 1. p 105-134. Belém, 2010.

LUNA, B. **Sequência básica na elaboração de protocolos de pesquisa.** Arq. Bras. Cardiol. [online]. 1998, vol.71, n.6, pp. 735-740. ISSN 0066-782X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0066-782X1998001200001&script=sci_arttext>. Acesso em 30 Dez. 2017.

MACHADO, M.; BRITO, C.; NEILA, J. **Comportamiento térmico em modelos com cubiertas ecológicas. Tecnología y Construcción.** v. 19, n.3, p. 49-58. Caracas, 2003.

MASCARÓ, J. L.; MASCARO, L. E. R.; STORCHI, C.; CAMARGO, E. G.; MACIEL, Â.; GUTERRES, H. E.; BRENTANO, A. K.; FRANARIN, A. C. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** 134 p. Porto Alegre, 1992.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Construções Sustentáveis.** Página Eletrônica. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>> Acesso em 29 Dez. 2017.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estrutura de madeira.** Ed. Blucher. 419 p. São Paulo, 1981.

MORAIS, C. S. de. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos – SP.** Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra). 108 f. UFSC, São Paulo, 2004.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura en Colombia.** Colômbia, Universidad del Vale, 240 p. 1968.

OLIVEIRA, J. M. G. C. de. **Produção e apropriação do espaço urbano: a verticalização de Belém.** São Paulo, 1992. Tese (Doutorado em Geografia Humana), FFLCH/USP.

OLIVEIRA, P. L.; SOARES, R. G.; SANTOS, S. X. **Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas.** Revista Petra. v 2. n. 1. p. 36-55. Belo Horizonte, 2016.

OZISK, N. **Transferência de Calor: Um Texto Básico.** Ed. Guanabara 661 p. Rio de Janeiro, 1990.

PERALTA, G. Desempenho térmico de telhas: **Análise de monitoramento e normalização específica.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 131 p. São Carlos, 2006.

PERDIGÃO, K. NECHET, D. MOURA, V. **Dias típicos de projeto para a cidade de Belém (PA): Primeira Parte.** UFPA – Universidade Federal do Pará. Departamento de Arquitetura e Urbanismo; Departamento de Meteorologia. MERCOFRIO 98 – Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do MERCOSUL. 1998.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

ROLIM, F. C.; ALLEM, P. M. **Projeto de Impermeabilização em piscinas e terraços.** Artigo de conclusão de curso em Engenharia Civil. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. 20 p. Blumenau, 2016.

RORIZ, M. **Consumo de Energia no condicionamento térmico de edificações: um método de avaliação.** IV Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 2001. 8 p. São Paulo, 2001.

SEAP – Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca. **Relatório de Impacto Ambiental do Terminal Pesqueiro Público de Belém/PA.** Ecossistema – Consultoria Ambiental. Ed. única. 174 p. Curitiba, 2008.

SILVA JR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F. **Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA.** Revista Brasileira de Meteorologia. V 28. n 4. p 419-428. 2013.

SILVA, P. O.; OLIVEIRA, A. G.; MACÊDO, M. P. **Análise da variação da temperatura em residências populares com diferentes tipos de coberturas (telhados) e sua relação com o conforto térmico.** Anais do IX Seminário de Iniciação Científica, IV Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação e Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual de Goiás. 6 p. Goiânia, 2011.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.** ENCAC 2003 - VII Encontro Nacional sobre Conforto e Ambiente Construído. COTEDI 2003 – III Conferencia Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações. 8 p. Curitiba, 2003.

WALTON, G. N. **Thermal Analysis Research Program Reference Manual.** National Bureau of Standards, NBSSIR 83-2655, 1983.