

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

COMPARAÇÕES ENTRE OS DESEMPENHOS DE DOMOS DE POLI(METIL METACRILATO) - (PMMA) E POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (GRP)¹

OMENA, Thiago Henrique (1); OLIVEIRA, Claudia (2); LARA, Arthur Hunold (3)

(1) USP, e-mail: thomena@gmail.com; (2) USP, e-mail: ctao@usp.br; (3) USP, e-mail: arthurlara@usp.br

RESUMO

Este artigo compara as propriedades físicas de dois materiais translúcidos usados em componentes de iluminação zenital: PMMA poli(metil metacrilato) e GRP (glass reinforced polymer). Foram avaliadas propriedades dos materiais que influenciam o desempenho lumínico e térmico. A pesquisa verificou os índices de emissividade, temperatura superficial, iluminância e fluxo de calor radiante. A geometria a peça foi projetada com auxílio do programa Rhinoceros 3D e plugin RhinoVault que simula a estrutura de cascas. Ambas superfícies foram submetidas a condições reais de iluminação e insolação para efeitos comparativos de estudos de desempenho. Os dados de temperatura de superfície foram adquiridos por meio de câmera termo visora, a temperatura do ar e de globo e a iluminância foram computados por meio de estação meteorológica e dois sensores de coleta. Os resultados demonstraram que a temperatura superficial externa da cobertura de PMMA chegou a 67,9°C enquanto o compósito no mesmo período estava em 51,2°C. Em relação ao fluxo de calor, encontrou-se indícios de que a superfície GRP chega a emitir um fluxo de 42,15 W/m² frente à 209,57 W/m² da superfície PMMA.

Palavras-chave: Emissividade. Fluxo de calor. Materiais compósitos. Domos.

ABSTRACT

This paper compares the physical properties of two translucent materials used in natural lighting components: PMMA poly (methyl methacrylate) and GRP (glass reinforced polymer). It was evaluated material properties that influenced the luminic and thermal performances. The research analyzed emissivity index, surface temperature, heat flux and illuminance. The geometry was designed with the aid of Rhinoceros 3D program and RhinoVault plugin that simulates shells structures. Both surfaces were subjected to actual lighting and insolation conditions for comparative studies. The surface temperature data has been acquired by camera with thermic display, the air temperature and the illuminance were computed by weather station and two collecting sensors. The results showed that the external surface temperature of the acrylic coverage reached 67,9°C while the composite in the same period was 51,2°C. Regarding to heat flow, it found evidence that the composite surface comes to emit a flow of 42.15 W / m² front of 209.57 W / m² of acrylic surface.

Keywords: Emissivity. Heat flow. Composite materials. Domes.

¹ OMENA, Thiago Henrique; OLIVEIRA, Claudia; LARA, Arthur Hunold Comparações entre os desempenhos de domos de poli(metil metacrilato) - (PMMA) e polímero reforçado com fibra de vidro (GRP). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Elementos de iluminação zenital – em arranjos discretos como os domos ou contínuos na forma de uma cobertura – compõem um amplo repertório arquitetônico e são adotados como recurso estético, funcional e como meio de melhorar o conforto lumínico (PEREIRA, 2006; IBARRA SOTO, 2010 etc) e as condições de habitabilidade e salubridade nas edificações. Sendo parte fundamental das estratégias de uso racional da energia, tais elementos permitem o aproveitamento direto da luz natural, viabilizando a redução do consumo do uso de eletricidade para a iluminação dos ambientes.

As soluções de projeto e construção dos elementos de iluminação zenital devem ainda responder a outros requisitos de desempenho de edificações, tais como, o controle do fluxo de energia térmica para a regulação das condições de conforto termo higrométrico; a garantia de superfícies estanques ou com controle da entrada de água chuva; a provisão de superfícies resistentes à ação de cargas concentradas, granizo e outras cargas acidentais potencialmente atuantes nessas superfícies durante a operação e manutenção das edificações para garantir condições de segurança estrutural e de uso.

Atualmente o potencial estético e o aproveitamento da luz natural são temas largamente pesquisados (NOBOA, 1991; PEREIRA, 2006; IBARRA SOTO, 2010), e as questões vinculadas à estanqueidade das coberturas também têm recebido crescente atenção do meio técnico. No entanto, as medidas para proteção contra queda de altura e contra impactos nessas superfícies ainda requerem maior atenção por parte dos projetistas, construtores e fabricantes, notadamente em edificações nas quais a área da iluminação zenital corresponde a uma significativa parcela da área da cobertura da edificação.

Recentemente, verifica-se de forma incremental, a integração dos elementos de iluminação zenital aos sistemas de produção de energia fotovoltaica, ampliando o potencial de uso multifuncional dessas superfícies. Essas superfícies requerem, via de regra, maiores áreas para atender simultaneamente aos múltiplos requisitos de desempenho. Portanto, as medidas de proteção são essenciais tanto para os usuários dos ambientes internos que se beneficiam diretamente da iluminação zenital, como para os trabalhadores responsáveis pela operação e manutenção da edificação e que devem, frequentemente, acessar a cobertura. Esses usos combinados exigem, naturalmente, especificações mais rigorosas² para materiais e componentes quanto à resistência a cargas de impacto e para as condições de segurança a serem providas nas coberturas das edificações.

Dante do exposto, este artigo sumariza os primeiros resultados experimentais de um estudo comparativo de dois materiais comumente usados para

² Atualmente normas internacionais (ASTM) sobre segurança de domos para edifícios não residenciais estão sendo revistas (WK17797 New Test Method for Standard Specification for Human Impact and Fall-through Resistance of Unit Skylights and Related Products Used on Skylight Openings. Disponível em www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=skylight&. Acesso em 01/Abril/2016.

produção de domos: o poli (metil metacrilato de metila) (PMMA) também conhecido como acrílico e a resina poliéster reforçada com fibra de vidro (GRP) ou *glassfiber reinforced polymer*. Esse estudo faz parte de um projeto que visa à investigação de métodos de projeto de superfícies multifuncionais incorporadas aos sistemas de iluminação zenital.

2 OBJETIVO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo do estudo apresentado neste artigo foi analisar, comparativamente, propriedades físicas que interferem no desempenho lumínico e térmico de dois materiais poliméricos empregados nos sistemas de iluminação zenital, PMMA e GRP: emissividade, iluminância, temperatura superficial, e fluxo de calor radiante.

A escolha do PMMA se deu em razão de ser um dos materiais mais comumente usados para a fabricação de domos no Brasil. O GRP, por sua vez, foi usado por ser um dos materiais compósitos explorados da pesquisa que estuda métodos de produção de peças por infusão à vácuo. Além disso, o GRP foi selecionado pelo fato de ser um material também usado para a produção de domos e por ser um material fibroso que, via de regra, apresenta boa resistência a impactos. Um modelo reduzido de domo de acrílico leitoso, que estava sendo usado para validação de um método de instalação, serviu de referência para a modelagem da superfície GRP. O processo de produção do compósito GRP é descrito no item 2.1.

2.1 Produção da superfície de GRP

Antes de produzir a superfície por laminação manual, é preciso isolar quimicamente o molde da resina que irá ser aplicada, e para isso, foi preciso aplicar uma camada de massa de polir número 2 (figura 1A), após aplicação da mesma, é necessário deixar secar, para depois polir com uma estopa. O polimento tem a finalidade de retirar todas as sujeiras do molde. Depois de lavado o mesmo com água e detergente para desengordurar, espera-se secar.

Após o processo descrito, foram efetuados três polimentos, onde é aplicado a primeira camada de cera *Tec Glaze*, esperar-se secar (10 a 15 minutos) depois dá-se um polimento, repete-se o procedimento por três vezes. Por último, após o enceramento aplica-se com uma esponja duas camadas de poli(álcool vinílico) - PVA, espera-se evaporar o álcool e secar a camada.

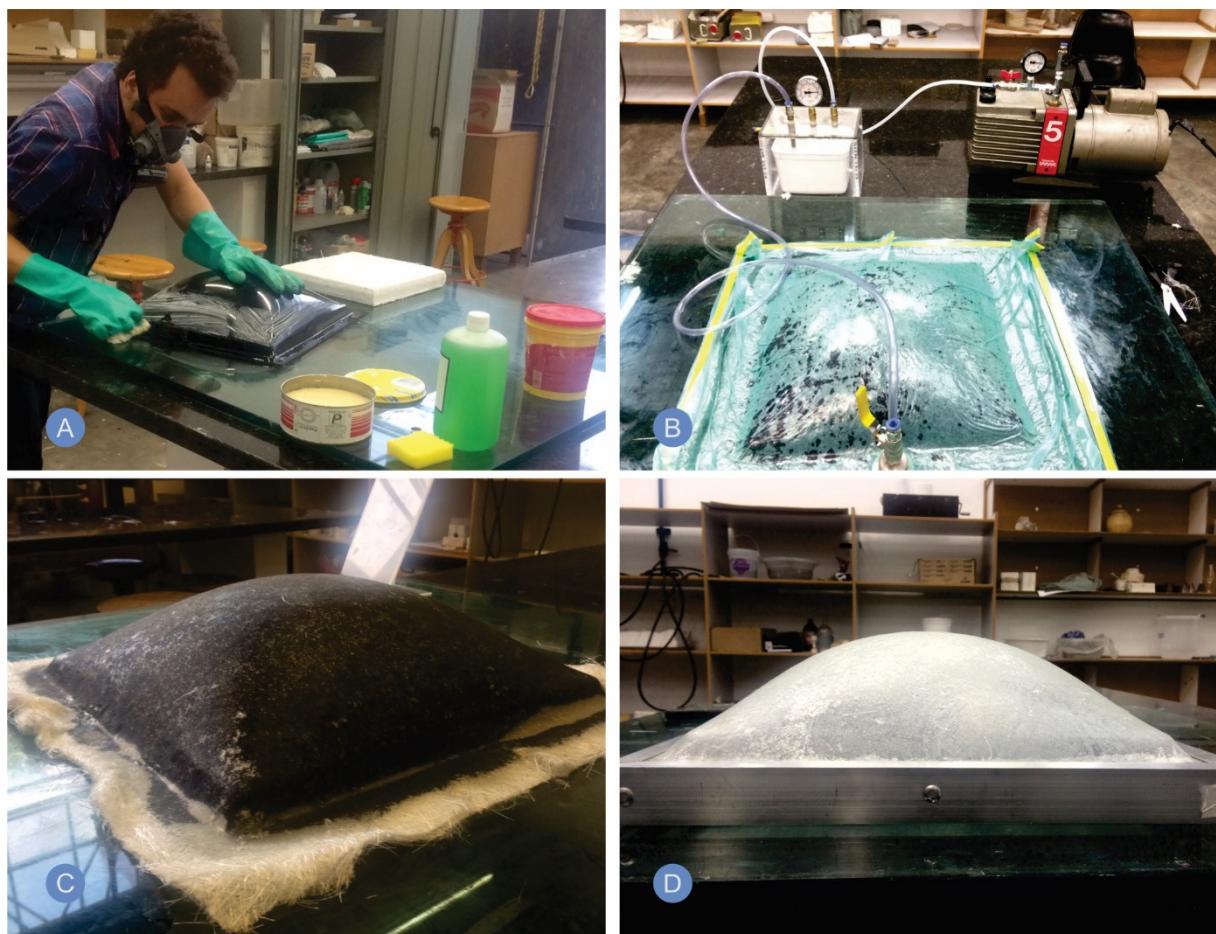
Foi utilizado 400 ml de resina para 100 gotas (1,5%) de catalizador Butanox; sobre a resina aplica-se duas camadas de Roving contínuo de fibra de vidro (figura 1B). Após a selagem do sistema, seja por saco de vácuo ou pela própria mesa, com auxílio de fita bambam (dupla face); aplica-se a pressão de 0,6 bar, acima da pressão local, que deve ser mantida até o início de catalisação, (figura 1C).

Para desmoldagem da peça, utiliza-se espátulas ou cunhas metálicas ou de madeira, além de ar comprimido que pode auxiliar, visto que descola as

superfícies da peça e do molde, a peça final é demonstrada na figura 1D.

Para compor o arranjo físico para os ensaios foram desenvolvidas duas envoltórias idênticas (para controlar as variáveis dos ambientes das superfícies), com placas de fibras de Madeira de Média Densidade - MDF com 3 mm de espessura e medidas externas de 425 x 425 x 700 mm. A modelagem da envoltória foi feita no aplicativo Rhinoceros 3D e o encaixe das superfícies foi parametrizado por meio do plugin Grasshopper e, posteriormente, foram cortadas em máquina CNC a laser como demonstra as figuras 2 e 3A.

Figura 1 – Processo de produção do compósito GRP



Fonte: Autores, 2016

Com o intuito de eliminar o reflexo das superfícies internas das envoltórias destinadas a abrigar os sensores de coleta de dados, estas foram pintadas na cor de preto fosco, com tinta para piso tipo esmalte sintético, em duas demãos, acrescida de mais uma demão de spray preto fosco (figura 3B). A emissividade do ambiente foi definida como 0,98 de acordo com Koenigsberg et al (1977).

Figura 2 - Corte de uma das superfícies da envoltória parametrizada



Fonte: Autores, 2016

As dimensões da base (425 x 425 mm) e de altura (700 mm) da envoltória resultaram da compatibilização de dois critérios: permitir o encaixe da esquadria de alumínio (com medidas de 430 x 430 mm) na qual as superfícies de PMMA e do compósito foram fixadas; e viabilizar a acomodação do tripé com o sensor para coleta dos dados.

Figura 3 - Pintura interna das superfícies de preto fosco



Fonte: Autores, 2016

Foram feitas aberturas em faces opostas da envoltória, o tamanho destas, seguiu a determinação dos códigos de obras municipais, que em sua maioria, determinam que a área mínima de ventilação não pode ser inferior à 1/6 da área do piso do ambiente. O modelo ensaiado possui uma área de base de 1806,25 cm² (42,5 x 42,5 cm), portanto, a somatória das aberturas não deve ser inferior à 301,04 cm² (segundo normativas municipais como já exposto). Neste sentido, adotou-se o valor de 320 cm² para facilitar o processo de corte, no qual foram feitas duas aberturas de 10 x 16 cm (160 cm²). As aberturas, foram centralizadas no eixo das faces e possuíam 20 cm de peitoril. Este posicionamento evita o contado da abertura com o aparelho que mede a umidade do sistema (figura 4A e B), impedindo preventivamente a inviabilização dos dados.

Figura 4 – Abertura das envoltórias



Fonte: Autores, 2016

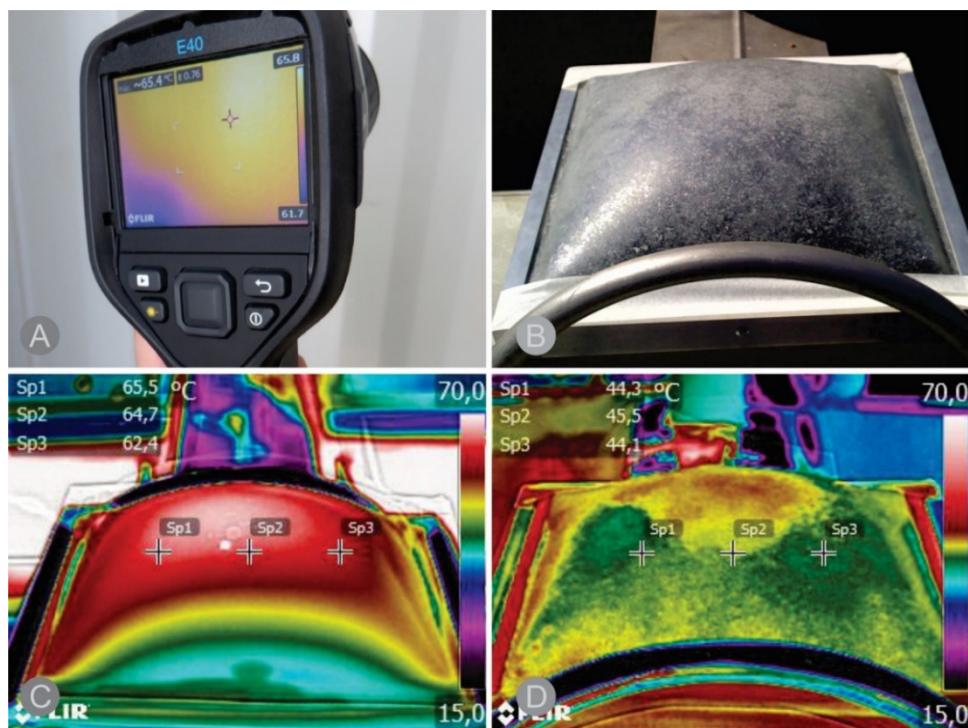
Os dois conjuntos foram instalados em local sem sombreamento, na cobertura do edifício Vilanova Artigas, na Cidade Universitária, em São Paulo. Para orientação das aberturas, avaliou-se a velocidade e a direção do vento que foram retiradas da rosa dos ventos criada pelo programa Sol-Ar para a de São Paulo. Observou-se que a direção com maior frequência de ocorrência dos ventos é na orientação SE possuindo velocidade entre 3 e 4 m/s no outono, que foi a estação na qual foram realizados os ensaios. As aberturas foram orientadas na direção SE e NO em virtude destas serem responsáveis por uma frequência (em conjunto) de aproximadamente 42% das ocorrências de ventos. Estas aberturas permitiram, uma vazão mínima de ar, evitando o superaquecimento do ambiente e garantindo condições adequadas para o funcionamento dos equipamentos de medida.

A temperatura ambiente e de globo, umidade relativa e iluminância foram medidas por meio de sensores instalados no interior das envoltórias, cobertas pelas superfícies ensaiadas. A coleta de dados teve início no dia 05/04/2016 (14 horas) e se estendeu até o dia 13/04/2016 (16 horas).

A medida de temperatura das superfícies foi feita com uma termocâmera da marca Flir E40 (figura 5A). Além da temperatura, o equipamento também produz imagem da radiação infravermelha de onda longa emitida pelos objetos analisados. Nos resultados apresentados PMMA representa a superfície de acrílico (figura 5C), e GRP representa, a superfície de compósito de resina poliéster reforçada com fibra de vidro (figura 5B e D).

As medidas das variáveis externas foram obtidas em base de dados coletados pela estação meteorológica do Instituto de Energia e Ambiente IEE nas proximidades do local onde foram expostos os modelos desta pesquisa; a iluminância externa foi obtida a partir do trabalho de Pereira (2006) que realizou medições na Cidade Universidade, no mês de abril, em condições de céu limpo (84.000lux, no dia 12/04, entre 11:00 e 11:15).

Figura 5 - Câmera termovisora e medições



Fonte: Autores, 2015

A emissividade foi medida por ser um parâmetro necessário à medida da temperatura de superfícies com a termocâmara. O parâmetro foi medido por meio de um emissômetro nas superfícies externa e interna dos domos (figura 6).

Figura 6 – Ensaio de emissividade das superfícies da pesquisa



Fonte: Autores, 2016

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se na figura 7 que ambas as amostras, apresentaram resultados de emissividade externa inferiores à interna. A superfície PMMA apresentou emissividades (interna e externa) maiores do que a da superfície GRP. A emissividade das faces internas das envoltórias, como apontado anteriormente é de 0,98.

Em relação à emissividade, é preciso considerar o que Incropera et al. (2008) afirma, quando relata que um corpo negro teórico seria um emissor ideal, visto que, nenhuma outra superfície poderia emitir mais radiação (dada uma mesma temperatura) do que este corpo negro hipotético. Isto posto, o autor define a emissividade radiante da superfície como a razão entre a emissividade emitida pela superfície e a emitida pelo corpo negro teórico em uma mesma temperatura, variando de 0 (corpo totalmente reflexivo) à 1 (totalmente absorutivo).

Figura 7 - Comparaçāo entre as emissividades no ensaio



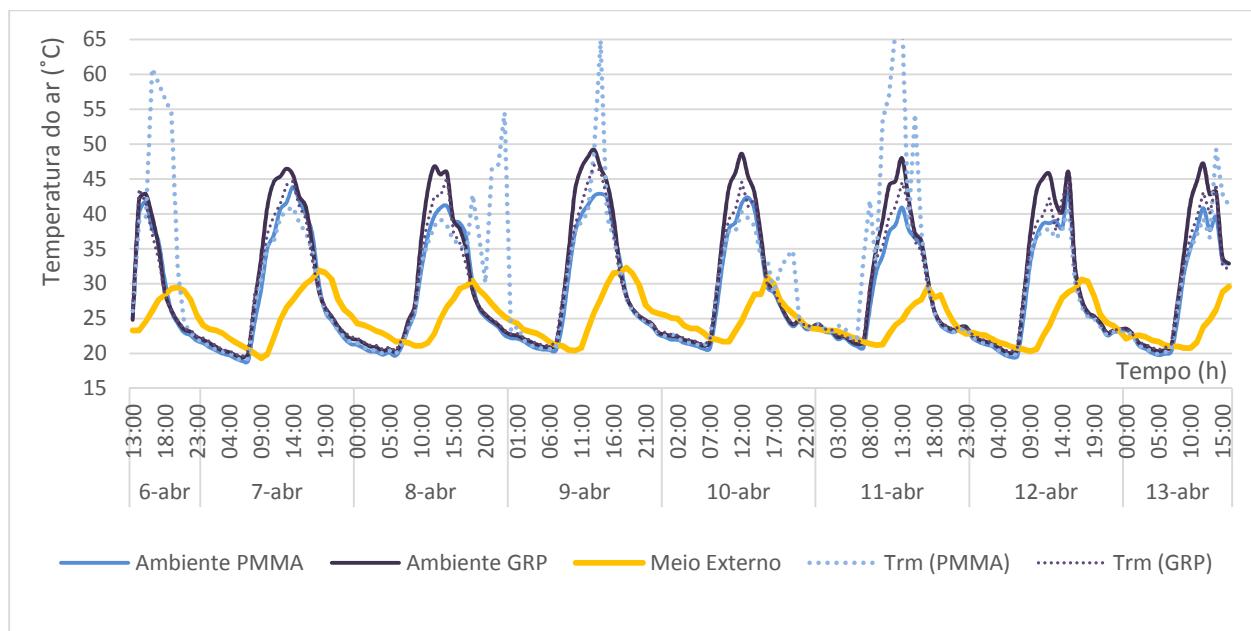
Fonte: Autores, 2016

A figura 8 apresenta as temperaturas ambientes das envoltórias de cada superfície ensaiada, as temperaturas radiantes médias (TRM's) como dados pontilhados e a temperatura do meio externo durante os ensaios.

As temperaturas radiantes média, apresentaram para o ambiente da superfície PMMA valores maiores que o ambiente da superfície GRP (figura 8); é possível que este resultado esteja diretamente relacionado ao fluxo de calor analisado, que apresentou comportamento semelhante.

Observa-se que ambos ambientes, apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que o ambiente da superfície PMMA apresentou temperaturas abaixo do ambiente da superfície GRP (sempre próximo ao meio dia).

Figura 8 – Temperaturas ambiente e radiante média das envoltórias



Fonte: Autores, 2016

A análise comparativa das iluminâncias medidas nos modelos foi feita com base na determinação do Fator de Luz Diurna (FLD) que é a razão entre o nível de iluminação interior e o exterior (ABNT, 2005). Foram adotadas as medidas feitas no dia 14/04, às 12:30, com céu limpo. O FLD da superfície PMMA foi de 0,36% enquanto o da superfície GRP foi de 34,43%, calculados segundo a equação:

$$FLD = \frac{E_{hi}}{E_{he}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

E_{hi} é a iluminância em um determinado plano horizontal do ambiente interno (lux) e E_{he} é iluminância produzida pela abóboda celeste sobre um plano horizontal externo, excluindo-se a iluminação direta do sol (lux).

Para compreender o fluxo de energia em uma superfície, é preciso ressaltar que qualquer matéria com temperatura acima de 0 K (-273°C) emite energia na forma de ondas eletromagnéticas, este princípio ocorre, porque segundo Incropera et al. (2008) temperaturas maiores estão relacionadas às energias moleculares altas, quando moléculas vizinhas se chocam, acabam transferindo energia das moléculas com elevada energia, para as menos energéticas. Tem-se a leitura hipotética de zero graus Kelvin quando há ausência de movimento molecular.

Na construção civil, o calor solar absorvido pela cobertura é transferido para o recinto da mesma (sótão) e contribui em grande parte para o aquecimento do ambiente, segundo Noboa (1991) foram desenvolvidos quatro sistemas principais de redução deste fluxo de calor:

- A adição de camadas isolantes à cobertura (contra a condução),
- Ventilação do sótão (contra convecção),

- Sistemas de refrigeração por aspersão de água e
- Barreiras radiantes (contra a radiação).

Ainda, segundo o autor, quando um sistema busca reduzir a transferência de calor por radiação ao ambiente da cobertura, é preciso que este propicie um modo de reduzir o ganho de calor solar através da mesma. A tabela 1 demonstra como a radiação é o maior responsável pela transferência de calor entre os três processos clássicos.

Tabela 1 – Resumo dos processos de transferências de calor

Mecanismo	Equação geral	Unidade do Fluxo de calor (Q)	Propriedade do material
Condução	$Q = -kA \frac{dT}{dx}$	(W)	k (W/m·K)
Convecção	$Q = hA (T_s - T)$	(W)	h (W/m ² ·K)
Radiação	$Q = \epsilon\sigma A (T_1^4 - T_2^4)$	(W)	ϵ (adimensional)

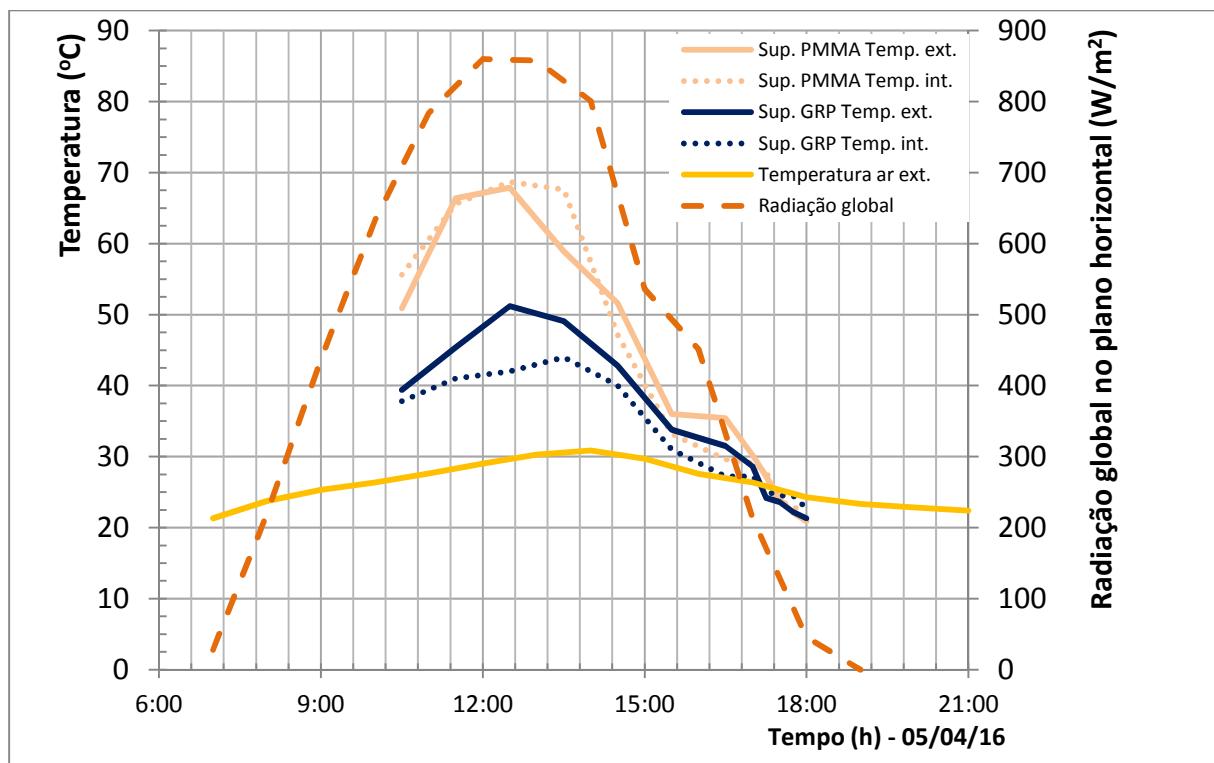
Fonte: Novo et al., 2014

Observa-se que nas equações, a sigla **A** (m^2) representa a área da superfície onde ocorre a transferência de calor e no processo de radiação, T_1 é a temperatura da superfície e T_2 a temperatura da superfície ao lado, ϵ (adimensional) é a emissividade e σ ($5,69 \times 10^{-8}$ W/ $m^2 \cdot K^4$) é a constante de Stefan-Boltzman. Neste sentido, o fluxo de calor por radiação térmica entre dois corpos depende sempre da diferença das temperaturas individuais dos mesmos, elevados à quarta potência (cada). O que demonstra o ganho de calor superior por radiação quando comparado aos ganhos por condução e convecção, visto que estes são elevados à primeira potência, Novo et al., (2014).

Na análise das temperaturas superficiais (figura 9), os dados pontilhados fazem referência às temperaturas de superfície interna, enquanto os dados de temperatura de superfície externa são apresentados com linha contínua, e os dados de uma mesma superfície estão relacionados por escala monocromática de cor, é apresentado ainda a temperatura do ar externo para balizar os dados.

As superfícies apresentaram (figura 9) comportamentos similares, com oscilações semelhantes de temperatura, entretanto, a superfície PMMA apresentou temperaturas superficiais mais elevadas do que a superfície GRP. Neste sentido, aferiu-se às 12:30 h, uma temperatura superficial interna de 69,9°C para a superfície PMMA e 46,2°C na superfície GRP, o que representa uma diferença de 46,97%. Já a temperatura superficial interna, no mesmo horário, apresentou valor para a superfície PMMA de 68,7°C enquanto a superfície GRP apresentou temperatura de superfície interna de 42°C, representando uma diferença na ordem de 63,57%.

Figura 9 - Comparação entre temperaturas de superfície interna e externa



Fonte: Autores, 2016

Para realizar uma análise de transferência de calor da superfície para o ambiente, montaram as tabelas 2 e 3, nas quais foram escolhidas as temperaturas superfícies internas das coberturas no horário crítico (maior irradiação global horizontal), 12h, com valor de 0,858 kWh/m².

Tabela 2 – Resultados das medições no horário crítico e demais dados considerados para cálculo de transferência de calor

	PMMA	GRP
Espessura Compósito (mm)	2	2
Temp. de face inferior da cobertura (°C)	68,7	42
Temperatura do ambiente interno (°C)	33,5	33,4
Emissividade da face inferior da cobertura	0,78	0,73
Emissividade do ambiente interno	0,98	0,98
Fator de forma	1	1
Fluxo descendente	Fluxo descendente	Fluxo descendente
Obs.: Modelo reduzido colocado na cobertura da FAUUSP; medidas feitas em 05/04/16 e temp. de superfície determinada c/ termovisora.		

Fonte: Autores, 2016

Com a alimentação dos dados escolhidos, procedeu-se o cálculo de fluxo de calor segundo a equação (2):

$$q''_{rad} = \frac{\sigma * (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{13}} + \frac{1-\varepsilon_3 S}{\varepsilon_3 S} + \frac{1-\varepsilon_3 i}{\varepsilon_3 i} + \frac{1}{F_{32}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}} \quad (2)$$

Depois de calcular a transferência de calor considerando as coberturas sem barreiras radiantes, procedeu-se o mesmo cálculo, entretanto, agora considerando uma situação hipotética de domos com dupla superfície.

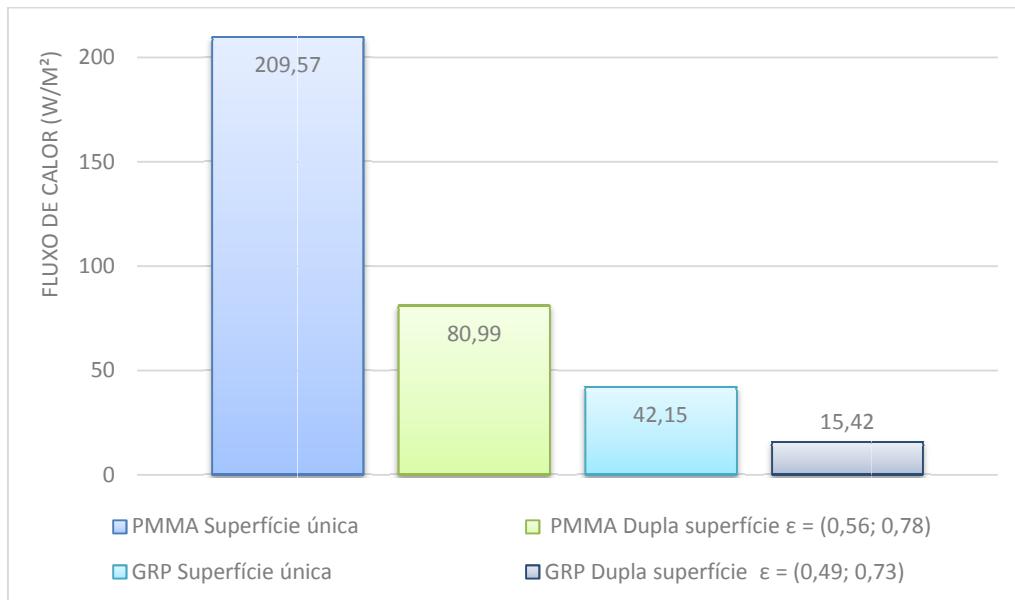
Tabela 3 – Simulações do fluxo de calor irradiado da cobertura para o ambiente considerando superfície única e com dupla superfície

Condição	Emissividade face superior (ε_s)	Emissividade face inferior (ε_i)	Fluxo de calor (W/m ²)	Redução do fluxo de calor (%)
Superfície única (PMMA)	-	0,78	209,57	-
Dupla superfície (PMMA)	0,56	0,78	80,99	61
Superfície única (GRP)	-	0,73	42,15	-
Dupla superfície (GRP)	0,49	0,73	15,42	63

Fonte: Autores, 2016

Na figura 10 observa-se que a superfície PMMA irradiou, aproximadamente, 400% mais calor para o ambiente do que a superfície GRP. Já na situação teórica de dupla superfície este valor sobe para pouco mais de 425%.

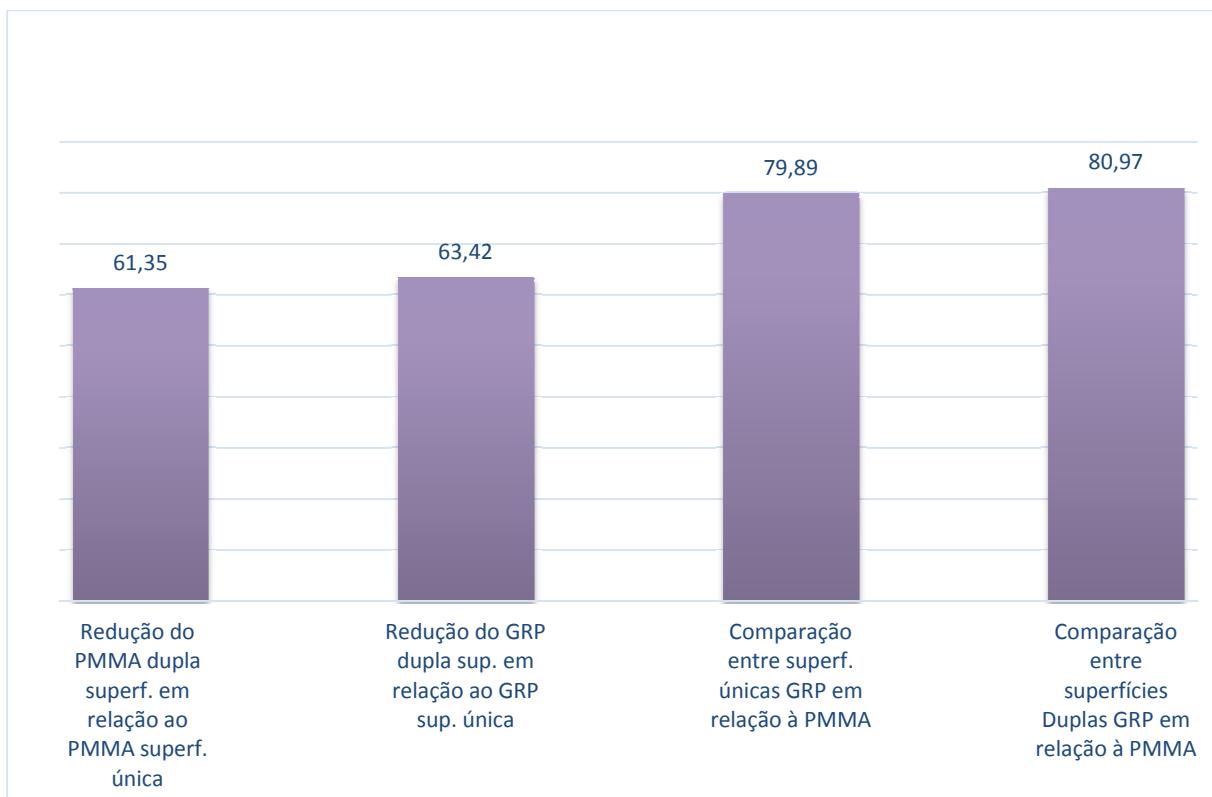
Figura 10 – Comparaçāo entre fluxos de calor das superfícies



Fonte: Autores, 2016

Com o exposto, foi possível avaliar a redução do fluxo de calor em cada caso, nos quais, considera-se a relação entre o fluxo de calor irradiado pela superfície dupla em relação à superfície única de cada material (figura 11). Para efeito de comparação apresenta-se também essa relação entre os casos semelhantes.

Figura 11 – Comparação da redução do fluxo de calor das superfícies A e B



Fonte: Autores, 2016

5 CONCLUSÕES

De acordo com o experimento realizado, verificou-se que a superfície GRP transfere 42,15 W/m² de calor, enquanto a superfície de PMMA transfere 209,57 W/m². Em relação ao fator de luz diurna, observou-se que a superfície GRP apresentou resultados consideravelmente maiores do que a superfície PMMA. Portanto, há indícios, embora ainda preliminares, de que o uso de GRP em superfícies, para o controle na transferência do fluxo de calor para o ambiente, possa ser uma solução projetual a ser considerada quando houver a necessidade de aproveitamento da luz natural para a iluminação em espaços de atividades humanas. Considerando, que esta solução de iluminação zenital, esteja sendo adotada para minimizar o uso de eletricidade necessária ao ambiente.

Embora as emissividades medidas da superfície GRP sejam menores do que as do PMMA e, consequentemente, uma redução do fluxo de calor maior, esta tendência foi observada nas temperaturas radiantes médias, entretanto, não foi observada quanto às temperaturas ambientes, visto que o ambiente da superfície de PMMA, apresentou valores absolutos menores que a superfície de GRP, isto revela uma vertente a ser melhor estudada, para verificar quais foram os fatores que geraram tais resultado.

De modo geral, esta pesquisa encontrou indícios de que a superfície GRP auxilia no controle das trocas de calor (interferência direta nas condições de conforto térmico), garante a transmitância luminosa adequada para

realização de atividades humanas, para economizar luz artificial. Estes indícios demonstram que é possível, desenvolver projetos de domos usando GRP, que podem também atender outro requisito de extrema importância para estes elementos arquitetônicos, que é a resistência ao impacto, visto que por hipótese, materiais reforçados com fibras, possuem maior resistência que materiais sem este tipo de reforço, esta vertente deve ser explorada futuramente pela pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Modelos e Ensaios – LAME da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU da Universidade de São Paulo - USP, que contribuiu de maneira significativa na realização da pesquisa. Ao professor José Gil Oliveira do Laboratório de Fotometria do Instituto de Energia e Ambiente -IEE USP e ao Ranieri Higa do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LABAUT da FAU USP.

REFERÊNCIAS

ABMACO — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. Compósitos I: **Materiais, Processos, Aplicações, Desempenho e Tendências**. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3**: iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

CLARKE, J. A.; YANESKE, P. P.; PINNEY, A. A. **The harmonisation of thermal properties of building materials**. Watford: Building Research Establishment. BRE Publication. BEPAC Research Report. 1990.

ENGEL, H. Sistemas Estruturais. Barcelona, Espanha: Editorial Gustavo Gili, 2014.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. West Port: AVI Publishing, 1979. 325p.

IBARRA SOTO, F. J. Avaliação do desempenho luminoso de duto de luz: **estudo da implantação em ambientes padrões de habitações populares em três latitudes**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2010.

INCROPERA, F. P; DEWITT, D. P; BERGMAN, T. L e LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Tradução de Eduardo M. Queiroz e Fernando L. P. Pessoa. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KOENIGSBERGER, O. et alii. **Vivienda y edificios en zonas cálidas tropicales**. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977.

NOBOA, H. L. **Influence of dust on the emissivity of radiant barriers**. A thesis presented for partial fulfillment of the requirement of the degree of Master of Science. Quito: Escola Politécnica Nacional, 1991.

NOVO, M. M. M. et al. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. **Cerâmica**, São Carlos, SP, v. 60, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v60n353/04.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

PEREIRA, D. C. L. Modelos físicos reduzidos: **uma ferramenta para avaliação da iluminação natural**. 2006. 246 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Área de Concentração Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

SEVEGNANI, K. B.; GHELFI FILHO; H.; DA SILVA, I. J. O. **Comparações de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. In: Sci. Agric. V 51. Jan./Abril, 1994.

VOLPATO, N. (ed.). Prototipagem rápida: **tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

WANBERG, J. **Composite Materials Fabrication Handbook #3**. EUA: Wolganfg Publications , 2012.