XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DESEMPENHO TÉRMICO DE UM FORRO COMPOSTO POR GESSO E FIBRA DE SISAL PARA USO EM RESIDÊNCIAS DE INTERESSE SOCIAL

Carolina Carvallo (1); Ricardo Fernandes (2)
(1) Mestre em Engenharia Civil, Arquiteta, Programa de Pós-Gradução em Engenharia Civil, carvallo.pinto@gmail.com, Universidade Federal da Bahia, Rua Aristides Novis, 02, 5°andar. Departamento de Estrutura e Construção, Federação, Salvador, Bahia, Brasil. 71-992812405
(2) Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Professor permanente do Departamento de Estrutura e Construção, Engenheiro, ricardoc@ufba.br, Universidade Federal da Bahia. Departamento de Estrutura e Construção, Rua Aristides Novis, 02, 5°andar. Departamento de Estrutura e Construção, Federação, Salvador, Bahia, Brasil. 71- 32839729

RESUMO
Diversas são as ferramentas de análise térmica para placas de forro em compósitos com matriz de gesso e reforçadas com fibras de sisal em laboratório, mas é necessário o aprofundamento da analise com ferramentas computacionais para a avaliação do desempenho térmico. Este trabalho teve como objetivo a realização de simulações computacionais de uma residência de interesse social protegida com um forro conformado por três tipologias: gesso, gesso-manta-gesso, gesso-manta-manta-gesso, gesso-manta-gesso-manta-gesso, visando analisar o desempenho térmico destes materiais. A residência foi simulada nas três cidades produtoras dos materiais constituintes para a formação dos compósitos: Salvador, Pernambuco e Campina Grande. Para isso, durante simulação foram registradas as temperaturas do ar no interior da residência e nos dois cômodos com orientação mais desfavorável. Os dados climáticos de radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia. Utilizando o programa Energy Plus, reproduziu-se o modelo residencial, simulado com o arquivo climático para cada cidade em análise. Foram comparados os valores de temperatura do ar obtidos nas simulações para a residência e para os quartos, sendo que tanto na residência como nos quartos, os compósitos diminuem em 2ºC as temperaturas internas do ambiente construído. Em relação à análise de horas de resfriamento, os compósitos gesso-manta-manta-gesso e gesso-manta-gesso-manta-gesso, não precisam de resfriamento durante o dia.
Palavras-chave: simulação computacional, compósitos, desempenho térmico.

ABSTRACT
Several thermal analysis tools are used for composite ceiling panels made with gypsum matrix and reinforced with sisal fibers in the laboratory, but it is necessary to deepen the analysis with computational tools for the evaluation of thermal performance. The aim of this work was to carry out computational simulations of a social interest residence with a lining conformed by three composite types: gypsum, gypsum–blanket-gypsum, gypsum-blanket-gypsum, gypsum-blanket-gypsum-blanket-gypsum, so the thermal performance of these materials can be analyzed. The residence is located in three cities that are the biggest producer of gypsum and sisal fiber in Brasil: Salvador, Pernambuco and Campina Grande. During the simulation the air temperatures inside the residence and in the two rooms with the most unfavorable orientation were registered. The climatic data of solar radiation, wind speed, temperature and humidity were obtained through the National Institute of Meteorology. Using the Energy Plus program, we reproduced the residential model with the climatic file for each city under analysis. The air temperature values obtained in the simulations for the residence and the rooms were compared. In the residence and in the rooms, the composites decrease the internal temperatures of the built environment by 2ºC. Regarding the analysis of cooling hours, the gypsum-blanket-balnket-gypsum- and gypsum-blanket-gypsum-balnket-gypsum composites do not require cooling during the day.
Keywords: computer simulation, composites, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

As residências de interesse social se caracterizam pelo ganho de calor e as altas temperaturas internas no espaço construído, não atingindo o conforto térmico nem os requisitos da NBR 15575. E nestas, são comumente utilizados materiais que requerem um alto consumo de energia e geração de CO_2 (ARANHA, 2009; CHERKI et al, 2014).

Deve-se enfatizar que os materiais que serão utilizados para melhorar o desempenho térmico nas residências de interesse social devem minimizar a transferência de calor entre o ambiente externo e interno, providenciando soluções construtivas que atingem o conforto térmico do espaço construído. Estas novas soluções também protegerão o meio ambiente e garantiram os requisitos de conforto, saúde e qualidade (PINTO et al., 2011). Por tanto, é fundamental introduzir materiais inovadores que contribuam com o desempenho térmico do espaço construído, auxiliando na evolução dos materiais convencionais usados como isolamento térmico.

Entre os materiais inovadores utilizados na construção civil, estão os materiais compósitos, que combinam as propriedades de dois ou mais materiais, melhorando as prestações deles (físicas, mecânicas, térmicas e acústicas). Os compósitos são formados por uma fase de matriz e uma fase de reforço, a matriz atua como um envelope que protegerá o reforço. Porém, o reforço proporcionará maior resistência à matriz, evitando a quebra e o abrupto colapso do material, permitindo a percepção de falhas e diminuição de suas propriedades mecânicas.

Atualmente, pesquisas sobre o uso e o comportamento das fibras naturais como reforço para compósitos, a fim de substituir as fibras sintéticas usadas na construção. Esse interesse no desenvolvimento de compósitos reforçados por fibras naturais deve-se às vantagens apresentadas pelas fibras, como sua leveza, origem em fontes renováveis, estética, facilidade de manuseio, manutenção e versatilidade. Portanto, fibras de sisal são utilizadas como componente para o painel de forro, beneficiando-se de sua flexibilidade, resistência à tração, elasticidade, densidade e alta porosidade, a fim de melhorar o comportamento térmico do compósito. Paralelamente, a matriz escolhida foi gesso, utilizada no setor de construção por suas propriedades físico-químicas, desempenho acústico, térmico e com diversas aplicações na construção civil. Portanto, foi conformado um painel para forro leve para uso em habitação social como solução de baixo custo e visando a redução do consumo de energia dos edifícios (CHIKKI et al., 2013).

Diversos estudos têm abordado o impacto sobre as propriedades térmicas de fibras naturais nos compósitos. Krüger e Michaloski (2002) avaliaram diferentes tipos de painéis feitos com madeira industrializada, blocos de concreto, painéis de chapa dura e impermeabilização de epóxi. Foi avaliado o intervalo de erro das medidas pelo coeficiente de correlação, R2 e conforto em horas com leitura de temperatura para inverno e verão. Os resultados mostraram que uma configuração de painel único produziria um desempenho térmico bastante pobre, concluindo que uma configuração de painel duplo pode alcançar um desempenho térmico superior aos materiais convencionais usados na construção civil.

Baker (2004) analisou um painel de compensado homogêneo opaco por um período de oito dias, estimando um erro nas temperaturas de 3% a 16%. Os resultados deste trabalho permitiram concluir que a transmitância térmica e a resistência do material influenciam diretamente a temperatura interna da célula-teste. Maior transmissão térmica do material, temperaturas internas mais altas na célula de teste.

Alonso (2007) analisou três tipologias de fachadas em: alvenaria massisa, alvenaria com cavidades, alvenaria com cavidades e isolamento térmico, e em concreto. Por um período de três dias para cada test-cell, com um erro estimado de 0,5ºC. Nesta pesquisa obteve-se para as fachadas alvenaria com cavidades e isolamento térmico, uma economia de energia de 15,4% em relação às paredes de cavidade não isolada padrão, no entanto quando as fachadas com cavidades e isolamento são ventiladas, exibiram uma economia de energia de 13,3% sobre a parede padrão da cavidade não isolada.

No entanto, pode-se observar que existem poucas análises dos compósitos através de simulações computacionais que permitam identificar o melhor uso dos materiais compósitos com matriz cerâmica no ambiente construído. Por tanto, a contribuição deste trabalho é propor uma placa de gesso e fibra de sisal que atinge o conforto térmico do espaço construído na cidade de Salvador.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a simulação de um modelo computacional para análise de desempenho térmico de uma residência unifamiliar de interesse social, nas cidades de Salvador, Petrolina e Campina Grande, a partir da comparação entre valores de temperatura do ar simulados para a residência.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas:

1. Simulação de uma residência de interesse social, realizando medições de temperatura no software Energy Plus.
2. Definição das caraterísticas para um modelo residencial de interesse social.
3. Definir as configurações de *in put* dos componentes construtivos do modelo.
4. Indicar as cargas térmicas representativas de uma residência de interesse social.

3.1. Simulação do modelo residencial de interesse social: Software

Nesta etapa foi analisada a sensibilidade das propriedades térmicas de 5 tipologias de placas de gesso com 1% de aditivo e compósito: placa de gesso padrão (G), placa de gesso – manta – gesso (GMG), placa de gesso – manta – manta – gesso (GMMG), e placa de gesso – manta – gesso – manta – gesso (GMGMG). As placas foram avaliadas numa residência de interesse social e sua resposta para os cômodos com orientação mais desfavoráveis da residência. Destaca-se que o pé direito da analise das placas é de 2,50m, mas foi necessário avaliar as residências de interesse social que na atualidade são construídas sem forro ou com forro de gesso, sendo que nas residências sem forro o pé direito é de 3,0m. Portanto, as placas propostas matem o pé direito (2,50m) das residências típicas de interesse social.

As simulações também foram feitas no software Energy Plus com os dados climáticos (INMET) e as propriedades térmicas analisadas no laboratório (CARVALLO, CUNHA e FERNANDES, 2018), especificando as caraterísticas da residência.

As simulações do modelo residencial foram realizadas para o dia 9 de dezembro de 2017, correspondente ao dia mais quente do ano na cidade de Salvador. Nesta data, foram avaliados os forros na residência, considerando as vedações verticais em alvenaria com reboco nas duas faces. A Tabela 1 apresenta as configurações a serem analisadas nas duas fases da simulação do modelo residencial.

Tabela 1. Configurações simulação residencial.

Fase 1	**Vedações**	**Forro**			
	Alvenaria com reboco	G	GMG	GMMG	GMGMG
SF1					
SF2					
SF3					
SF4					

SF: simulação do forro

Uma vez determinado os melhores sistemas de forro para a conformação da residência, foi avaliado seu desempenho em outras duas localizações. Primeiramente em Petrolina e depois em Campina Grande, com o intuito de determinar o desempenho dos materiais das cidades do semiárido nordestino, região produtora dos materiais que estão sendo analisados.

Os resultados das simulações para a residência e para os cômodos mais desfavoráveis foram avaliados a partir do método de somatório graus hora, que consiste em avaliar todas as temperaturas que estão fora da temperatura de conforto indicada para a zona bioclimática da NBR 15575 (SPOSTO, 2007; KRÜGER e MICHALOSKI 2003). Portanto, quanto maior seja o tempo em que as temperaturas são superiores a temperatura de conforto, maior será a necessidade de resfriar o ambiente construído.

Ilustra-se na Figura 1ª composição das quatro placas de forro para cada compósito, nas quais as camadas de gesso atuam como proteção das camadas de fibra de sisal. Nas placas as fibras atuam como o isolante térmico da placa.

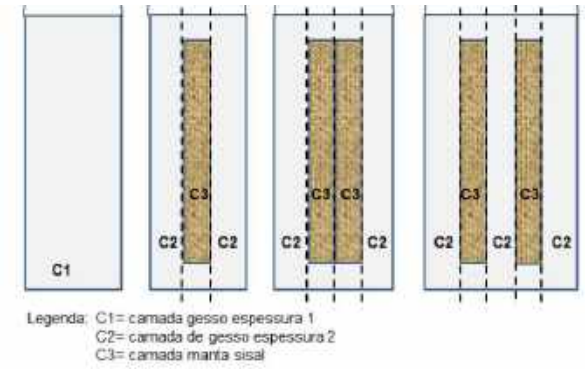

Figura 1. Conformação dos compósitos.

3.2. Caraterísticas da residência de interesse social

Foi escolhido um conjunto habitacional localizado na cidade de Salvador BA, com data de inauguração em 2017 mais que ainda não foi construído. O projeto consta de 20 casas para 20 famílias de baixa renda com

dimensões de 8,50 x 8,10m aproximadamente, com pé direito de 2,5m e com uma área construída de 60,87 m². Esta residência está composta por um quarto principal, quarto do filho, sala de estar, sala de jantar, varanda, um banheiro, cozinha e área de serviço externa, ilustrado na Figura 2.

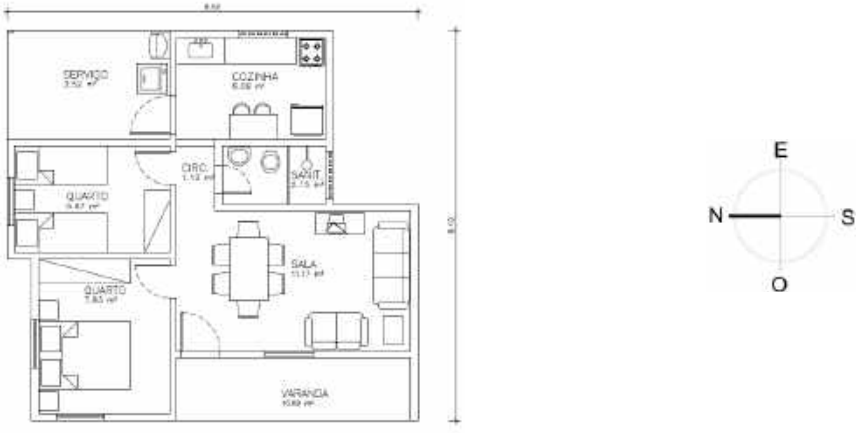

Figura 2. Planta baixa edificação. Fonte. Adotado de Estudiofarol.

O projeto arquitetônico apresenta a fachada com orientação norte, na qual se situam os quartos 1 e 2, sem proteção das vedações ou das esquadrias, sendo os cômodos mais desfavoráveis e considerados para análise específica. A partir dos desenhos técnicos do projeto arquitetônico foi realizado o estudo volumétrico no software Sketchup e o plug-in Open Studio, como indicado na Figura 3 e 4. O estudo volumétrico é a base geométrica para a simulação no Energy Plus.

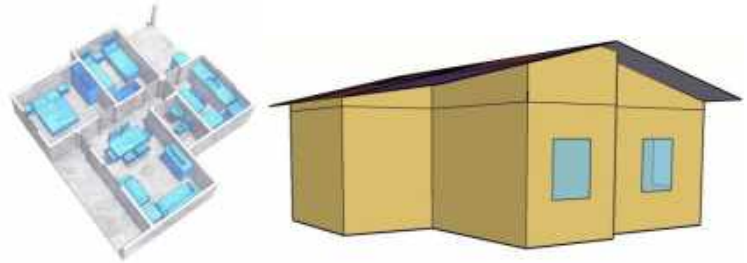

Figura 3 e 4. Perspectivas da edificação, Sketchup e Open Studio (Autor)

3.3. Configuração dos componentes construtivos

Para a primeira etapa das simulações as vedações verticais externas da edificação estão compostas por alvenaria e reboco na fase externa e interna, e esquadrias sem sistemas de sombreamento. Destaca-se que estas esquadrias não necessariamente correspondem à faixa adequada indicada pela NBR 15575 de 8 a 15% da área útil nem aos níveis de sombreamento adequados, portanto, a pesquisa foi desenvolvida com a situação mais desfavorável para esta residência (SORGATO et al., 2012). A cobertura é composta por telha de fibrocimento sem acabamento e com forro em G, GMG, GMMG e GMGMG, segundo cada simulação.

Para as propriedades físicas e térmicas dos componentes construtivos, foram adotados os valores entregues pela NBR 15220:2005, indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades dos componentes construtivos (CARVALLO, CUNHA e FERNANDES, 2018; NBR 15220:2005)

	Alvenaria	**Reboco**	**Telha fibrocimento**	**Vidro**
Espessura (m)	0,09	0,02	0,004	0,006
Densidade (Kg/m^3)	1600	2000	1800	2500
Cond. térmica (W/mK)	0,9	1,15	0,95	1,0
Calor específico (J/kgK)	0,92	1,0	0,84	0,84
Absortância	0.65	0.4	0.3	0,15
Emissividade	0.85	0.9	0.9	0.84

3.4. Definição das cargas térmicas

A NBR 15575:2013 e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina indicam que os ambientes de permanência prolongada das edificações devem ser simulados a partir de suas cargas internas de ocupação, taxa metabólica e iluminação artificial considerando que estes parâmetros devem ser iguais para todo o período de análise. Estes padrões de ocupação e iluminação dos espaços são determinados pelo uso ideal para uma família (SORGATO et al., 2012).

Para os padrões de ocupação foram consideradas duas pessoas para os dormitórios nos horários entre 21h às 7h, para a sala de estar é considerado um 50% do total de pessoas da residência nos horários entre 14h às 18h e um 100% da ocupação da residência nos horários entre 18h às 21h.

As taxas metabólicas só foram consideradas para as áreas com atividade de uso prolongado, por tanto, é considerado nos dormitórios um total de 81W para cada pessoa e na sala de estar 108W para cada pessoa.

O parâmetro de iluminação artificial considerado na simulação é nas horas da manhã são entre 6h e 7h para dormitórios, sala, sanitários, circulação e cozinha, já no período noturno foi entre 21h e 23h para os dormitórios e circulação, e entre 17h e 21h para a sala de estar. A Tabela 3 resume os dados de entrada para a simulação residencial.

Tabela 3. Dados de entrada para a simulação residencial.

Ambiente	Área útil (m^2)	Área janelas		Ocupação		Taxa Metabólica	Iluminação artificial (h)	
		m^2	%	Pessoas	Horário	W/Pessoa	Manhã	Tarde
Varanda	10,69	0	0	0	-	0	-	-
Sala	11,17	1,2	10,74	2	14-18h	108	6-7	17-21
				4	18- 21h	108		
Quarto 1	7,83	1,2	15,33	2	21-7h	81	6-7	21-23
Quarto 2	5,67	1,2	21,16	2	21-7h	81	6-7	21-23
Circulação	1,12	0	0,00	0	-	-	6-7	17-23
Sanitário	2,15	0,5	23,26	0	-	-	6-7	-
Cozinha	6,09	0,5	8,21	0	-	-	6-7	-
Serviço	3,52	0	0	0	-	-	-	-

4. RESULTADOS

As simulações do modelo residencial resultaram em temperaturas internas da residência e dos cômodos mais desfavoráveis orientados ao norte (quarto 1 e 2) na cidade de Salvador para um dia típico de verão, considerado o dia 9 de dezembro, permitindo avaliar a resposta térmica da edificação segundo as definições da norma. Na Figura 5 são apresentados os resultados das temperaturas internas obtidas na residência para as diferentes tipologias de forros avaliados e para a residência sem forro. É possível observar que a residência sem forro atinge uma temperatura interna máxima de 31,29ºC considerando um pé direito de 3,0m, não obstante, quando é colocado um forro em gesso (com 1% de aditivo) a uma altura de 2,50m, as temperaturas internas aumentam até 32,14ºC devido à diminuição da área livre para ventilação e circulação de ar da residência.

Analisando comparativamente os sistemas de forro, todos os materiais compósitos apresentaram uma temperatura interna máxima de 29,72ºC, com um deslocamento da curva em relação à residência sem forro, iniciando o aumentando das temperaturas no interior da residência às 6h, diferentemente da residência sem forro que aumenta sua temperatura internas às 9h.

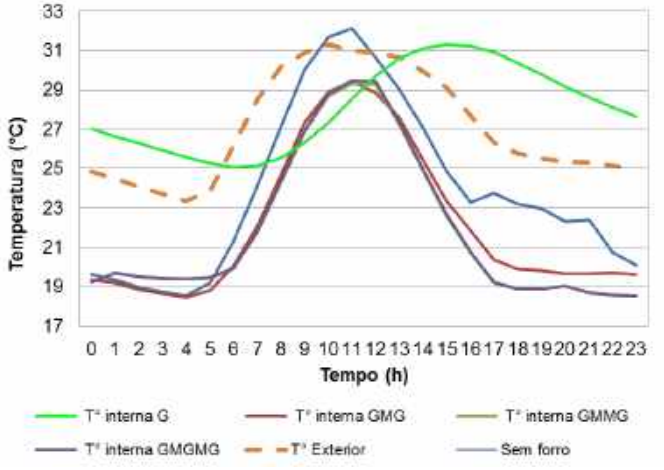

Figura 5. Comportamento dos materiais para forro.

É possível observar na Figura 6 que as temperaturas indicadas no inicio do gráfico às 1h respondem a propriedade de calor específico do material, capacidade térmica, atraso térmico e a quantidade de calor necessária para que a temperatura do material seja modificada. Percebe-se que o gesso com 1% de aditivo e o compósito GMG apresentam temperaturas similares, 19°C, de igual forma que os valores apresentados para o calor especificam com 0,88 KJ/(kgK) e 0,92 KJ/(kgK), respectivamente. No entanto, os valores de calor específico para os compósitos GMMG e GMGMG diminuem, em relação ao gesso com 1% de aditivo

e do GMG, atingindo 0,80 KJ/(kgK) e 0,82 KJ/(kgK), respectivamente. Estes valores se refletem nas temperaturas (20°C) e no afastamento das curvas no gráfico.

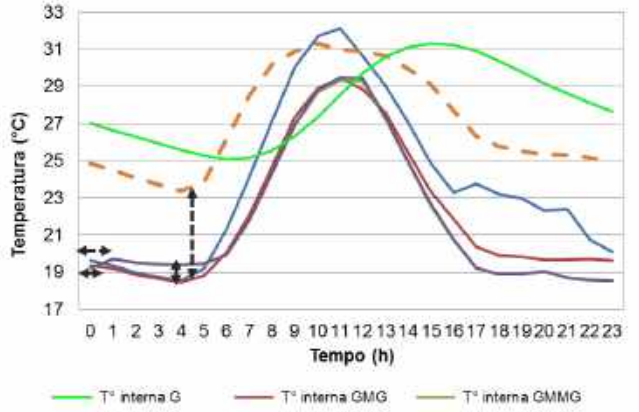

Figura 6. Curva de temperaturas para diferentes tipologias de forro.

Observa-se que o intervalo de temperaturas entre as curvas de temperatura interna e externa em um mesmo período de tempo estão relacionadas à capacidade do material de conduzir o calor desde o exterior para o interior da residência. O gesso com 1% de aditivo apresenta uma condutividade de 0,75W/mk, valor que diminui com o uso da manta de sisal no compósito GMMG atingindo 0,53W/mk. Estas diferenças na condutividade são visíveis na curva, pela diferença da temperatura, atingindo 5°C e 5,5°C, respectivamente. O mesmo acontece com os compósitos GMMG e GMGMG que atingiram os valores mais altos durante os ensaios de condutividade com 0,84W/mk e 0,91W/mk, com uma diferença de temperatura de 6°C.

Continuando com a análise das curvas de temperatura, a Figura 7 destaca que o aumento das temperaturas se inicia as 4hrs da manhã, no gesso com 1% de aditivo e para o compósito GMG. O GMG aumenta a resistência térmica do gesso com 1% de aditivo de 0,02 m2K/W para 0,028 m^2K/W o que determinará os gradientes da curva no gráfico. Os compósitos GMMG e GMGMG aumentaram ainda mais a resistência térmica do gesso com 1% de aditivo, com 0,035 m^2K/W e 0,030 m^2K/W, deslocando mais ainda os gradientes da curva.

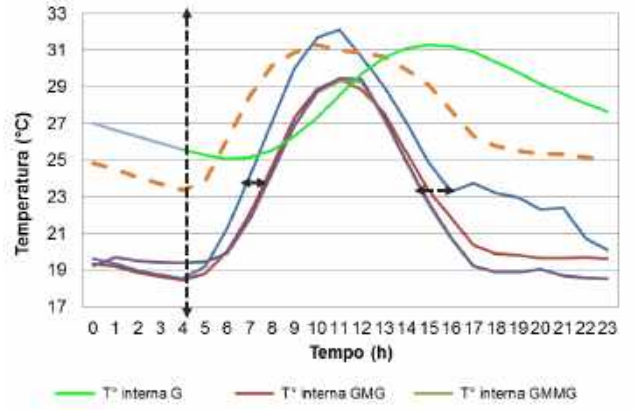

Figura 7. Deslocamento da curva de temperaturas para diferentes tipologias de forro.

O gesso com 1% de aditivo apresenta valores de transmitância de 50 $W/(m^2K)$, valor que diminui com o acréscimo de camadas de manta de sisal e gesso nos compósitos atingindo 36,25 $W/(m^2K)$, 29,2 $W/(m^2K)$ e 33,44 $W/(m^2K)$, respectivamente. A diminuição dos valores para a transmitância térmica está representada no deslocamento da curva, correspondente a um tempo de 1h.

O ponto dentro da curva de temperatura, na qual a gradiente positiva de temperatura atinge o pico (ilustrado na Figura 8), está relacionado às propriedades de transmitância e resistência térmica dos materiais. O gesso com 1% de aditivo apresenta as temperaturas mais altas com 32°C, seguido pelos compósitos que atingem 29,5°C aproximadamente. Esta diferença nos valores também pode ser observada na transmitância e resistência térmica, já que todos os compósitos apresentam um comportamento similar, aumentando em média um 35% a resistência do gesso e diminuindo em média um 26% a transmitância térmica.

O ponto de encontro entre a inclinação da curva e o inicio das temperaturas homogêneas também estão relacionadas à transmitância térmica dos materiais. Os compósitos diminuem a transmitância do gesso com 1% de aditivo, transferindo de forma homogênea as temperaturas internas a partir das 17h, o que não acontece com o gesso, que continua aumentando sua temperatura a partir das 16h. A transferência de calor homogênea deve-se a capacidade da manta de sisal de absorver o calor, que é transmitido pela camada de

gesso, e redistribui-lo entre as fibras e os espaços vazios no interior da manta, criando não só a transferência de calor as outras camadas do compósito mais também condensações internas que dissipam o calor.

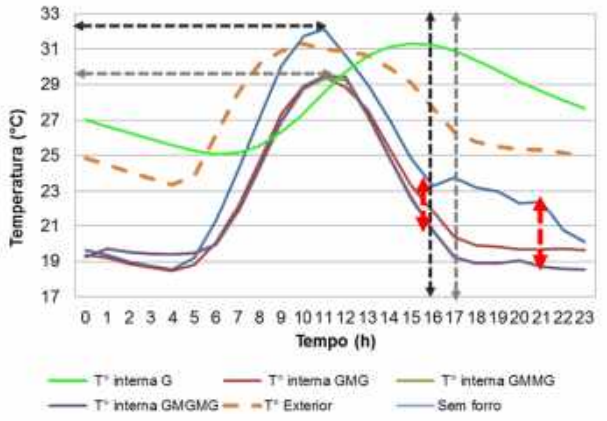

Figura 8. Pico da curva de temperaturas internas para diferentes tipologias de forro.

As diferenças nas temperaturas noturnas se devem ao funcionamento da residência. Na simulação foi considerado que a residência é habitada entre 14h e 7h com uma taxa de iluminação entre 17h e 23 h. O gesso com 1 % de aditivo apresentou maiores valores de capacidade térmica e calor específico, seguido pelo GMG, o que explica o afastamento do gradiente negativo entre as 14 e 23h, indicadas na Figura 8.

Quando as curvas de temperatura dos materiais são avaliadas, existe um tempo entre o início do gradiente positivo e o fim do gradiente negativa, ilustrada na Figura 9. O intervalo de tempo está determinado pelas propriedades de atraso térmico dos materiais. O gesso com 1% de aditivo e o compósito GMG apresentam os menores valores de atraso térmico com 14,8h e 13,33h, respectivamente. No entanto, os compósitos aumentam em 1h o tempo em que ocorre a variação de temperatura, considerando que o gesso acontece em um período de tempo de 11h, no entanto, para os compósitos esta variação acontece em 12h.

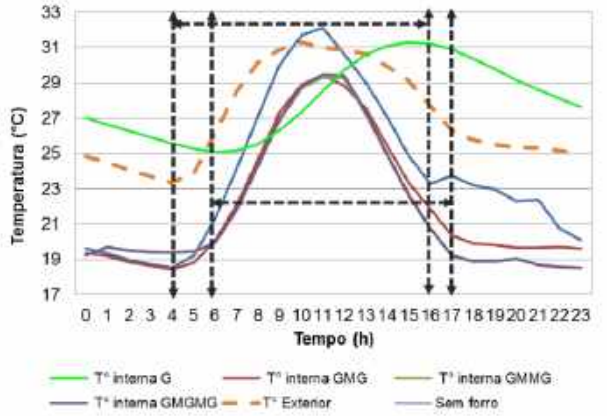

Figura 9. Atraso térmico para diferentes tipologias de forro.

A partir das simulações, foram estimadas as temperaturas máximas no interior da residência e dos cômodos mais desfavoráveis, permitindo avaliar o desempenho térmico da residência segundo os requisitos indicados pela NBR 15575:2013. A seguir a Tabela 4 traz todos os valores obtidos na simulação.

Tabela 4. Temperaturas máxima da residência e quartos para diferentes forros.

	Residência	Quarto 1	Quarto 2	T° Externa	Nível de
Forro	T°Max	T°Max	T°Max	Máx.	desempenho
G	32,14	34,37	33,09	31,31	Não atinge
GMG	29,44	32,87	29,81		Superior
GMMG	29,32	30,21	25,76		Superior
GMGMG	29,48	30,12	25,74		Superior

As temperaturas máximas atingidas pela residência determinaram que o desempenho da residência com forro de gesso não é atingido, mas quando é utilizado um forro conformado pelos compósitos é possível atingir o desempenho superior solicitado pela NBR 15575, diminuindo em 2ºC a temperatura inicial. Este comportamento também é observado nos quartos 1 e 2 da residências. A análise do somatório graus hora determina o tempo em que as temperaturas obtidas nas simulações excedem a temperatura externa para o dia analisado, com o intuito de determinar a quantidade de energia necessária para atingir o desempenho mínimo indicado pela norma. Quanto maior for o tempo em que as temperaturas internas são superiores a externa,

maior será a energia necessária para resfriar o ambiente. A Tabela 5 apresenta os resultados do somatório graus hora para cada material, tanto para a residência como um todo e para os quartos mais desfavoráveis.

Tabela 5. Resultados somatório graus hora.

°C.h	Residência	Quarto 1	Quarto 2
G	60,47	173,08	137,04
GMG	Não precisa	128,44	Não precisa
GMMG	Não precisa	Não precisa	Não precisa
GMGMG	Não precisa	Não precisa	Não precisa

Entre os resultados obtidos para a residência observa-se que o forro de gesso com 1% de aditivo requere de 60,47ºC.h de energia necessária para resfriar a residência. Quando é avaliado o quarto 1, o mesmo forro de gesso requer de 173,08ºC.h de energia para ser refrigerado, energia que diminui um 26% quando é utilizado o forro de GMG. Para o quarto 2, o forro em gesso requer de 137,04ºC.h de energia para atingir o desempenho mínimo indicado pela norma.

Os resultados de desempenho térmico atingido na residência e nos quartos determinam que as melhorias obtidas na residência com os compósitos GMMG e GMGMG são similares as do GMG, já no caso dos quartos existe uma melhoria no caso do forro GMGMG e GMMG, mas considerando o custo do material e mão de obra para sua confecção, eles não são considerados o material adequado para a residência. Quando o desempenho térmico da residência é analisado com uma temperatura de conforto de 24ºC, (Tabela 6) observa-se uma diminuição nos graus horas da residência e dos quartos quando são acrescentadas as camadas dos compósitos, no entanto, existe uma diferença pequena entre o desempenho dos compósitos.

Tabela 6. Resultados somatório graus hora para 24ºC.

	Residência	Quarto 1	Quarto 2
	°C.h	°C.h	°C.h
G	192,96	499,08	341,36
GMG	172,84	484,66	295,25
GMMG	171,40	467,72	278,42
GMGMG	171,86	438,19	227,03

Portanto, o trabalho deu continuidade à análise da residência com forro em GMG com o intuito de determinar o desempenho térmico e a necessidade de refrigeração da residência em Petrolina e Campina Grande, principais produtores regionais dos materiais constituintes do compósito. Conforme a NBR 15575:2013, a cidade de Petrolina está localizada na Zona Bioclimática 7 e a cidade de Campina Grande na Zona Bioclimática 8. A análise da residência foi realizada com os mesmos dados de in put utilizados nas simulações para a cidade de Salvador, diferenciando as condições climáticas de cada cidade a partir dos dados climáticos da base meteorológica do INMET. As duas cidades foram analisadas no dia mais quente do ano, no caso de Petrolina corresponde ao dia 25 de setembro e para Campina grande, o dia 21 de setembro. Analisando comparativamente os resultados da Figura 10 para a residência, a cidade de Petrolina atinge as maiores temperaturas externas com 36,82°C com uma oscilação térmica de 13°C durante o dia, enquanto a cidade de Campina Grande alcança uma temperatura máxima de 36,2°C com uma oscilação de 15°C.

A cidade de Campina Grande exibe as maiores temperaturas internas para a residência analisada atingindo 33,11°C, com uma diminuição da temperatura externa em 3,09°C e com um deslocamento dos gradientes de temperatura, atingido as temperaturas internas menores que as externas entre 9h e 16h. Enquanto, Petrolina apresenta temperaturas internas menores que Campina Grande com uma máxima de 31,37°C, diminuindo em 5,45°C a temperatura interna da residência.

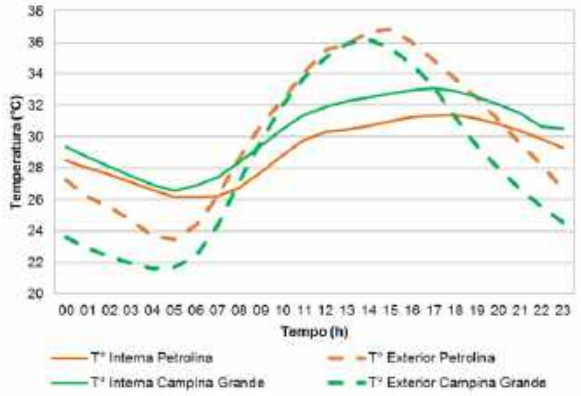

Figura 10. Desempenho da residência em Petrolina e Campina Grande.

O desempenho da residência, localizada em Petrolina, melhorou a partir do deslocamento dos gradientes de temperatura, indicando que as temperaturas internas são menores que as externas entre as 7h a

20h, prolongando o período de tempo da cidade de Campina Grande. A diminuição das temperaturas em Petrolina se deve em parte a diminuição de 20% da umidade relativa e no aumento da velocidade dos ventos no dia de análise, em relação a Campina Grande. Na Tabela 7 é possível avaliar as temperaturas máximas que atingiram a cidade de Petrolina e Campina Grande na avaliação da residência, com uma diferença de 1,74°C. No entanto, quando são analisados os quartos 1 e 2, Petrolina exibe uma diminuição de 2,8°C no quarto 1 e de 5,33°C para o quarto 2, enquanto na cidade de Campina Grande existe uma diminuição das temperaturas interna de 3,56°C no quarto 1 e 2,2°C no quarto 2.

Tabela 7. Temperaturas máxima da residência para Petrolina e Campina Grande.

	T°Max		Nivel de desempenho
	Petrolina	Campina Grande	
Residência	31,37	33,11	Petrolina e Campina Grande o nivel superior
Quarto 1	34,02	39,76	Petrolina atinge o nível intermediário e Campina Grande não atinge o desempenho térmico
Quarto 2	31,49	34,00	Petrolina e Campina Grande o nivel superior
Externa	36,82	36,20	-

Por tanto, ao avaliar o desempenho térmico da residência e dos quartos segundo a NBR 15575:2013, foi possível determinar que a residência em Petrolina e Campina Grande atinge o nível superior. O quarto 1, Petrolina atinge o nível intermediário e em Campina Grande não atinge o nível de desempenho mínimo. O quarto 2, tanto para Petrolina como para Campina Grande, atingem o nível de desempenho superior. No entanto, na cidade de Campina Grande, o quarto 1 não atingiu o desempenho térmico mínimo, por tanto foi analisada a quantidade de energia necessária para refrigeração. Os resultados amostraram uma necessidade de 235°C.h para atingir o desempenho térmico mínimo para a Zona Bioclimática 8.

Ao avaliar as cidades de Petrolina e Campina Grande foi possível determinar que os materiais minimizaram as temperaturas em relação ao ambiente externo satisfatoriamente para a residência como um todo e para quarto 2, a partir dos requisitos da norma. No entanto, foi possível perceber que existem alguns momentos do dia em que a residência encontra-se na zona de conforto térmico e abaixo dos 24°C, por exemplo, em Petrolina entre as 0h e 5h as temperaturas estão abaixo de 24ºC e para Campina Grande as temperaturas estão na faixa entre as 0h e 6h. Quando o desempenho térmico da residência é analisado com uma temperatura de conforto de 24ºC, na cidade de Petrolina a residência e os quartos requerem de refrigeração durante todo o dia já que as simulações não apresentam nenhuma temperatura abaixo dos 24ºC. No entanto, em Campina Grande, a residência precisa de refrigeração a partir das 6h até as 0h, mas quando os quartos são analisados em forma independente, vão precisar de refrigeração durante todo o dia.

Considerando as residências de cada localização, existe um melhor desempenho na cidade de Petrolina que em Campina Grande. Embora as temperaturas máximas sejam similares para as localidades, existem diferenças nas zonas bioclimáticas destas cidades, indicadas pelas médias mensais de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Assim, estas variáveis climáticas determinaram o melhor e pior desempenho da edificação, em conjunto com as soluções arquitetônicas para os requisitos apresentados pela NBR 15575:2013. Portanto, é fundamental dar continuidade à análise da residência até atingir uma melhora no desempenho térmico e atingir o conforto térmico, a partir das exigências e requerimentos da NBR 15575:2013 e NBR 15220:2005.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível verificar que a introdução de novos materiais é mais uma alternativa eficiente para atingir o desempenho térmico no espaço construído. Os compósitos analisados melhoram a eficiência térmica dos materiais convencionais mais prepondera um estúdio específico para cada localidade, já que não pode ser utilizado de forma padronizada para todas as situações. Portanto, o desempenho térmico da residência de interesse social é uma articulação entre as soluções propostas pelo projeto arquitetônico, os materiais e as soluções construtivas que devem atingir os requisitos da NBR 15575:2013.

Outra questão a ser discutida são as divisões das zonas bioclimáticas apresentadas pela norma, já que ao avaliar uma mesma zona climática (8), neste caso Salvador e Campina Grande, obtemos resultados diferentes de desempenho térmico. Portanto, as exigências padronizadas da norma para as soluções projetais não necessariamente vão permitir atingir o conforto térmico no espaço construído já que tem uma influência muito grande as variáveis climáticas na avaliação da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, C.; OTEIZA, I.; GARCÍA-NAVARRO, J.; MARTÍN-CONSUEGRA, F. **Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of façades**. Three case studies in Madrid. Energy and Buildings. 2016. p.11. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.034

ANDRADE, T.C.Q; FREIRE, T.M.M; NERY, J.M.F.G; KATZSCHNER, L. **Thermal comfort and urban climate of the tropical city of Salvador, Bahia.** TECBAHIA: Revista Bahiana de Tecnologia de Salvador. V.17. p.34-45. 2002

ARANHA, A. **Resíduos da construção civil e o estado de São Paulo.** Sinduscon. São Paulo. 2009.

BAKER, P. **IQ-test-improving quality in testing and evaluation of solar and termal characteristics of building componentes**. Energy and buildings. 2004. p.7. doi:10;1016/j.enbuild.2004.01.046

BDMEP. **Série Histórica – Dados diários e mensais.** Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Instituto Nacional de Meteorologia. Consultado em 10 de agosto de 2018.

CARVALLO, C.; CUNHA, A.; FERNANDES, R. **Avaliação da condutividade térmica dos compósitos de matriz de gesso reforçado com fibras de sisal.** 60° Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON. 2018.

CARVALLO, C.; CUNHA, A.; FERNANDES, R. **Evaluation of the thermal performance of gypsum composites reinforced with sisal fibers.** 4th Brazilian Conference on Composite Materials. BCCM. 2018.

CHERKI, A.; REMY, B.; KHABBAZI, A.; JANNOT, Y.; BAILLIS, D. **Experimental thermal properties characterization of insulating cork-gypsum composite.** Construction and buildings materials. 2014. p.8. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.12.076

CHIKKI, M.; AGOUDJIL, B.; BOUDENNE, A. AND GHERABLI, A. **Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation**. Energy and buildings. 2013. P.7. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.019

KRÜGER, E. L.; MICHALOSKI, A.O. **Avaliação térmica de habitação popular através de simulação computacional como parâmetro de projeto arquitetônico: Estudo de caso na Vila Tecnológica de Curitiba.** In: IX Encontro Nacional de Tecnología do Ambiente Construído. ENTAC, IX: Foz de Iguaçu, 7 a 10 de maio de 2002. Anais. Foz de Iguaçu, ENCAC, 2003. p.115-123.

INMET. **Normas Climatológicas do Brasil.** Instituto Nacional de Meteorologia. Consultado em 10 de agosto de 2018.

NERY, J.; ANDRADE, T.; MOURA, T. **Conforto Térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual.** Revista de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia-UFBA, vol. 7, nº 1, Salvador, p. 70-77, 2006.

PINTO, J.; PAIVA, A,; VARUN, H,; COSTA, A.; CRUZ, D.; PEREIRA, S.; FERNANDES, L.; TAVARES, P; AGARWAL, J. **Corn´s cob as a potencial ecological termal insulation material.** Energy and buildings. 2011. doi:10.1016/j.enbuild.2011.04.004

SORGATO, M.J. et al. **Avaliação de desempenho térmico pela norma NBR 15575 em consulta pública em 2012.** Universidade Federal de Santa Catarina. LABEEE – Laboratório de Eficiência Energetica em Edificações, 2012.

SORGATO, M.J; VERSAGE, R; LAMBERTS, R. **A influencia da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais.** Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2012.

SORGATO, M.J. et al. **Proposta para o método de simulação da norma de desempenho NBR 15575.** Universidade Federal de Santa Catarina. LABEEE – Laboratório de Eficiência Energetica em Edificações, 2012.

SPOSTO, R.M.; KOMENO, M.H; KRÜGER. E.L. **Viabilidade energético-econômica de habitações de interesse social em Brasília com uso de blocos de concreto e entulho.** Engenharia Civil. 2007. p.519-524.

TEIXEIRA, A.H DE C. **Informações Agrometeorológicos do Polo Petrolina, PE/ Juazeiro, BA. 1963 a 2009.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Semiárido. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Petrolina-PE. 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.