

Análise do desempenho térmico das vedações verticais externas com revestimento da face interna em argamassa de gesso.

Orientando: Igor Angeles de Bitencourte, Orientador: Elaine Guglielmi Pavei Antunes

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

igorbitencourte@gmail.com, elainegpa@unescc.net

Resumo: O trabalho apresentado trata do uso de argamassa de gesso como revestimento interno para vedações verticais externas, considerando os níveis de satisfação impostos pela Norma Brasileira NBR 15.575:2013 - Desempenho em Edificações Habitacionais. O estudo foca nas vedações verticais externas por estarem sujeitas a maiores esforços e intempéries do ambiente, sendo que os resultados obtidos podem ser aplicados as vedações verticais internas. O gesso apresenta boas propriedades em relação ao desempenho térmico, tal fato é comprovado mediante cálculos apresentados, o desafio é comprovar essa eficácia quando aplicado como revestimento interno de paredes. O estudo contou com cálculos baseados em norma e coletas de temperaturas obtidas com a execução de protótipos e testes em laboratório. Com os resultados obtidos pode-se fazer uma correlação entre os valores e identificar qual protótipo atendeu ou não as exigências prescritas por norma.

Palavras-chave: gesso; argamassa; revestimento; desempenho; economia.

Abstract: The work presented deals with the use of plaster mortar as internal lining for external vertical seals, considering the satisfaction levels imposed by Brazilian Standard NBR 15.575: 2013 - Performance in Housing Buildings. The study focuses on external vertical seals because they are subjected to greater environmental stress and weather, and the results obtained can be applied to internal vertical seals. The plaster has good properties in relation to thermal performance, this fact is proven by the presented calculations, the challenge is to prove this efficiency when applied as internal wall covering. The study included standard-based calculations and temperature collections obtained from prototyping and laboratory testing. With the obtained results, a correlation between the values can be made and to identify which prototype met or not the requirements prescribed by norm.

Key-words: plaster; mortar; coating; performance; economy.

Introdução

Entende-se por desempenho o conjunto de características ou capacidades de comportamento e rendimento de um indivíduo ou sistemas, quando comparado com metas e requisitos. A relação positiva entre edificação, seus agentes e atividades ocorridas em seu ambiente é indispensável para o sucesso em termos de desempenho. O desempenho global é



estabelecido relacionando a concepção e o uso final de cada parte da edificação, com isso, são definidos os requisitos e respectivas soluções de engenharia (COSTELLA et al, 2017).

Em 2003, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) iniciou uma normatização específica para o desempenho de edificações, e em 2013, uma versão definitiva foi publicada, a NBR 15.575:2013 (Desempenho em Edificações Habitacionais). O objetivo da norma é estabelecer um padrão mínimo de desempenho, onde a mesma apresenta os resultados que devem ser atingidos e não a maneira prescritiva de obtê-los.

Toda edificação vem a sofrer desgaste seja causada pelo homem e/ou pela natureza. Os materiais empregados, mesmo em seu estado natural, deterioram-se continuamente através de processos físicos, químicos e biológicos (PETRUCCI, 2000). A vedação externa é um dos sistemas mais exigidos na edificação por estar diretamente ligada às intempéries do ambiente e propriedades físico químicas dos seus diferentes materiais. O projeto de fachada deve pensar na relação entre materiais ao longo do tempo, nas diferentes solicitações e na futura manutenção (FILHO et al, 2014). A manutenção através de previsão das atividades de conservação como, operações rotineiras de limpeza e descontaminação de superfície, são indispensáveis para a garantia de funcionalidade da vedação vertical externa diminuindo custos de reparos, prevenindo manifestações patológicas e obtendo ganho de vida útil (BONIN, 1993.)

Os fatores externos à edificação corroboram para o surgimento de manifestações patológicas que vão desde a perda estética à riscos nocivos para a saúde e a segurança. A chuva e o vento são os fenômenos meteorológicos com maior influência em fachadas. A radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar contribuem para possíveis manifestações patológicas como: descolamento de partículas, fissuras, infiltração, manchas e outros (PETRUCCI, 2000).

A NBR 15.575:2013 busca, além do atendimento aos critérios de conforto e desempenho, o desenvolvimento de uma construção sustentável. O conceito de construção sustentável possui uma visão multidisciplinar e complexa, abrangendo diversas áreas do conhecimento como arquitetura, engenharia, paisagismo, saneamento, química, elétrica, eletrônica e também antropologia, biologia, medicina, sociologia, psicologia, filosofia, história e espiritualidade (ARAÚJO, 2008).

A utilização de materiais mais eficientes e renováveis é um objetivo para todos os setores de construção (CAMPOS, 2013), nessa busca por novos métodos e materiais tem-se o gesso. A fabricação de gesso ocorre com a extração da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mineral



abundante na natureza, e desidratação à uma temperatura de 160°C, o que demanda pouca energia de ativação comparado com outros minerais. Sua alta porosidade em revestimento permite um isolamento térmico e acústico, baixa condutividade térmica e incombustibilidade, o que lhe confere a vantagem de resistência ao fogo (SILVA; COSTA, 2013).

Em questão de reciclagem segundo Silva; Costa (2013), o gesso é altamente aproveitado e as pesquisas de reaproveitamento avançaram de forma significativa. Existem três frentes principais de reaproveitamento do material: indústria cimenteira, setor agrícola e indústria de transformação do gesso que reincorpora seus resíduos no seu processo de fabricação. Essas frentes de reaproveitamento foram largamente testadas e aprovadas e são tecnicamente possíveis e viáveis, o que representam grande importância à sustentabilidade civil.

Entende-se por industrialização da construção o “processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho, técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva” (FRANCO, 1992 apud SIRTOLI, 2015). A racionalização e a industrialização caminham juntas. A aplicação de medidas racionalizadas aumenta o nível organizacional dos processos, que é a base da industrialização.

A otimização do tempo de execução significa racionalização, que por sua vez, faz parte do processo industrial na construção. Este não se limita apenas a fabricação de peças pré-moldadas, por exemplo, mas analisa a obra numa visão global, podendo classificar o grau de industrialização de baixo a alto conforme os padrões que cada construtora estabelece para si mesma (SIRTOLI, 2015). O autor ainda contempla que quanto mais padronizado qualquer sistema, mais fácil de realizar se torna e a probabilidade de desvios (manifestações patológicas) é muito menor.

A pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho térmico de vedações verticais externas utilizando gesso como revestimento interno em comparação com a utilização de argamassa convencional. Os cálculos para análise seguem os preceitos da NBR 15.575:2013 (Desempenho em Edificações Habitacionais) e NBR 15.220:2005 (Desempenho térmico de edificações).

Materiais e Métodos

O desenvolvimento do trabalho deu-se através de 4 etapas, sendo a primeira delas pesquisa bibliográfica voltada ao desempenho térmico de vedações verticais externas, desenvolvimento de cálculos para a determinação da taxa de transferência de calor e propriedades físicas dos materiais a serem utilizados. A segunda etapa deu-se com a realização dos cálculos dispostos na NBR 15.220-2:2005 (Desempenho térmico de edificações) que prescreve o passo a passo para sua realização, bem como, as tabelas e coeficientes necessários. A terceira fundamentou-se na execução de protótipos para a realização de testes em laboratório, com o intuito de coletar os dados térmicos e registro fotográfico através de termografia. A quarta e última etapa é a comparação dos resultados obtidos através dos cálculos com os resultados levantados em laboratório e a determinação do nível de satisfação em relação a NBR 15.575-1:2013 (Desempenho em Edificações Habitacionais – Requisitos gerais).

Para a análise de desempenho térmico foram executados 4 protótipos, suas nomenclaturas e características encontram-se na Figura 2.

Protótipos	Nomenclatura	Revestimento Interno	Bloco Cerâmico	Revestimento Externo	Largura Total
1	PROT-G1.0	Gesso = 1,0 cm	9 cm	Argamassa = 2cm	12,0 cm
2	PROT-G1.5	Gesso = 1,5 cm	9 cm	Argamassa = 2cm	12,5 cm
3	PROT-G2.0	Gesso = 2,0 cm	9 cm	Argamassa = 2cm	13,0 cm
4	PROT-A2.0	Argamassa = 2,0 cm	9 cm	Argamassa = 2cm	13,0 cm

Figura 2. Nomenclatura dos protótipos.

Para o desenvolvimento dos protótipos utilizou-se três materiais: bloco cerâmico, argamassa industrializada e gesso (Figura 3). Os dois primeiros são comumente utilizados na construção, a ênfase está na utilização do gesso como revestimento da face interna das vedações verticais externas.

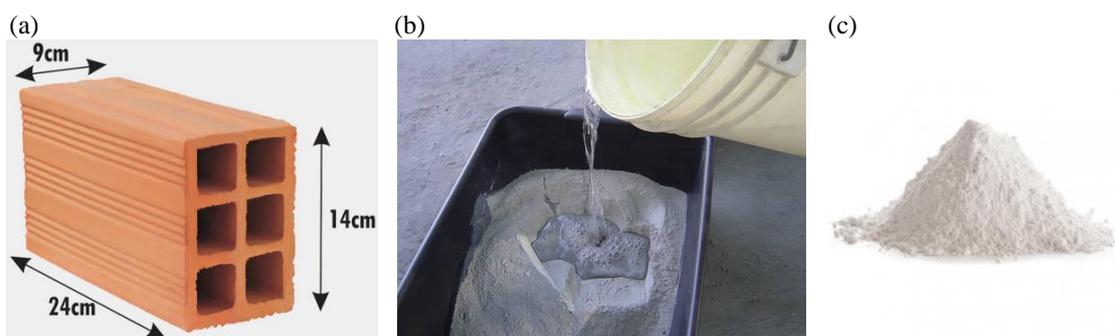


Figura 3. (a) Bloco cerâmico, (b) argamassa industrializada e (c) gesso.

O gesso por definição é um material moído em forma de pó, obtido através da calcinação da gipsita, predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos para controlar o tempo de pega. Deve ser armazenado em local seco e protegido para garantir sua qualidade e propriedades (NBR 13.207, 2004). Segue abaixo uma ilustração do ciclo do gesso.

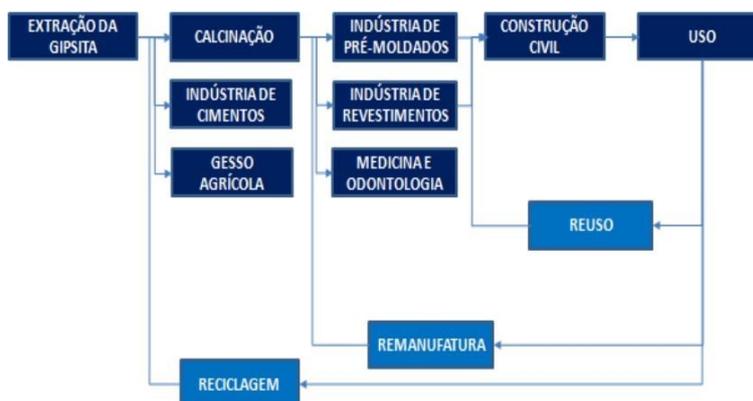


Figura 1: ciclo do gesso (BISPO, 2017)

O bloco cerâmico é um componente de alvenaria com furos prismáticos ou cilíndricos, é fabricado essencialmente com argila, modulado por extrusão a temperaturas que permitam que o produto atenda as condições prescritas pela NBR 7.171:1992. O bloco utilizado no ensaio possui 6 furos com dimensão externa de 9x14x24cm com função apenas de vedação, suportando seu peso próprio e pequenas cargas de ocupação (NBR 7.171, 1992). Não podem apresentar defeitos como trincas, quebras, superfícies irregulares ou deformações que prejudiquem seu desempenho e aplicação.

A definição de argamassa segundo NBR 13.281:2005 é a mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerante inorgânicos e água, com propriedades de endurecimento, podendo ser dosada em obra ou industrializada. Optou-se pelo uso de argamassa industrializada pelo fato de a dosagem permanecer inalterada em todos os protótipos. A mesma foi utilizada tanto para o assentamento dos blocos quanto para a vedação.

A argamassa industrializada deve atender os requisitos da NBR 13.281:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos) e NBR 13.528:2010 (Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração). É indicada para aplicação em revestimentos internos e externos e assentamentos de blocos cerâmicos ou de concreto. Possui vantagem por ser homogênea e de fácil aplicação, apresenta limitação na questão de não poder ser utilizada como assentamento estrutural (VOTORANTIM, 2019).

Após a seleção e a qualificação dos materiais foram construídas as caixarias com dimensões internas de 41,5x44,5cm onde as paredes foram alocadas. Essas medidas garantem as dimensões exatas para o encaixe da parede no local da porta do forno para realização dos testes térmicos (Figura 4). Os blocos cerâmicos foram assentados com argamassa industrializada com espessura de 2cm entre eles e a caixaria. Após 28 dias foram executadas as vedações de argamassa e gesso.

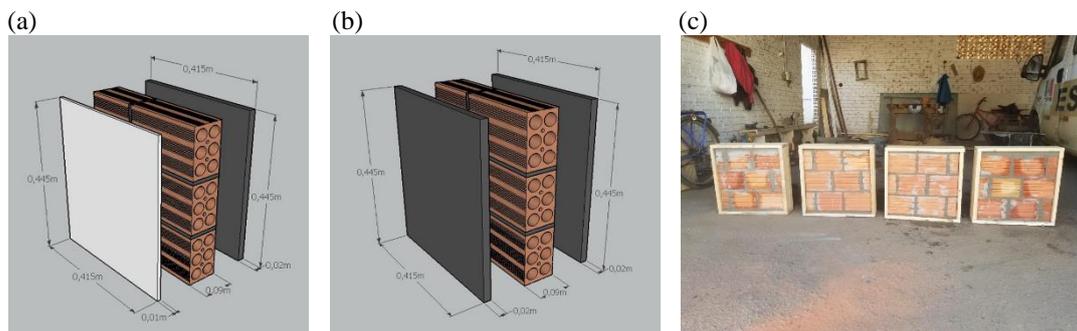


Figura 4. (a) Protótipo com revestimento interno em gesso (b) protótipo com revestimento interno em argamassa, (c) protótipos executados.

Como o gesso é o material em destaque nesse estudo, optou-se pela execução de 3 protótipos com espessuras distintas do revestimento de gesso, para após a análise em laboratório, aferir se realmente a espessura da camada influencia de forma significativa na transmitância térmica. Na Figura 5a pode-se observar os protótipos já desmoldados e revestidos. Na Figura 5b iniciou-se o teste térmico na estufa com termopares locados no interior da mesma, na face interna e externa do protótipo, e um termopar locado na parte externa para a captura da temperatura ambiente. A Figura 5c demonstra a captura da imagem termográfica durante a realização do ensaio.

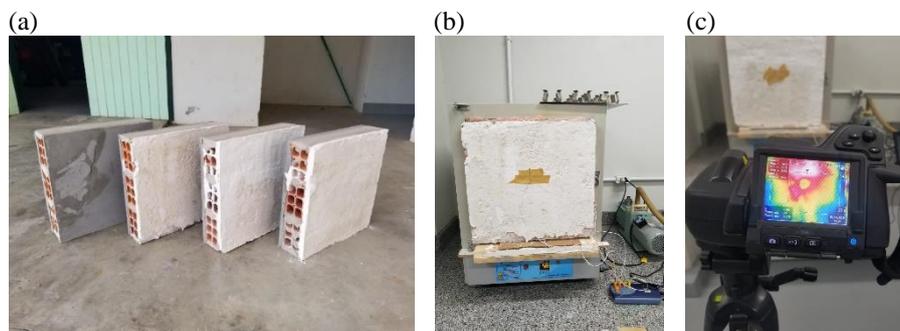


Figura 5. (a) Protótipos rebocados com gesso e argamassa, (b) protótipo em ensaio térmico na estufa e (c) câmera termográfica.

O teste térmico foi realizado de forma empírica utilizando uma estufa da marca Quimis, com homogeneidade de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ no seu interior. Afim de observar as imagens térmicas foi utilizada a técnica de termografia digital, com a câmera termográfica da marca FLir. A aferição da temperatura ocorreu com a utilização de termopares tipo K posicionados na face interna e externa da parede, bem como, um termopar instalado no interior da estufa e um externo medindo a temperatura ambiente. A coleta de dados ocorreu no intervalo de 1 min. Com duração total de 360 min. (6 horas), totalizando um total de 360 pontos de amostragem por protótipo com temperatura da estufa estabelecida em 80°C . As imagens térmicas foram capturadas no início e no final de cada experimento, a estufa foi programada para uma temperatura de $(80 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ durante 6 horas. A câmera foi posicionada a uma distância de 1 metro da estufa, para que não houvesse interferência da temperatura externa.

Os cálculos para a determinação do desempenho térmico seguiram as prescrições da NBR 15.220:2005 pelo método de seções com camadas não homogêneas. Os índices utilizados são variáveis de acordo com a zona bioclimática. Essa norma estabelece, conforme a Figura 6, cada zona bioclimática do território brasileiro. Neste estudo, utilizou-se a zona bioclimática 2, devido à proximidade com a cidade de Urussanga – Santa Catarina.

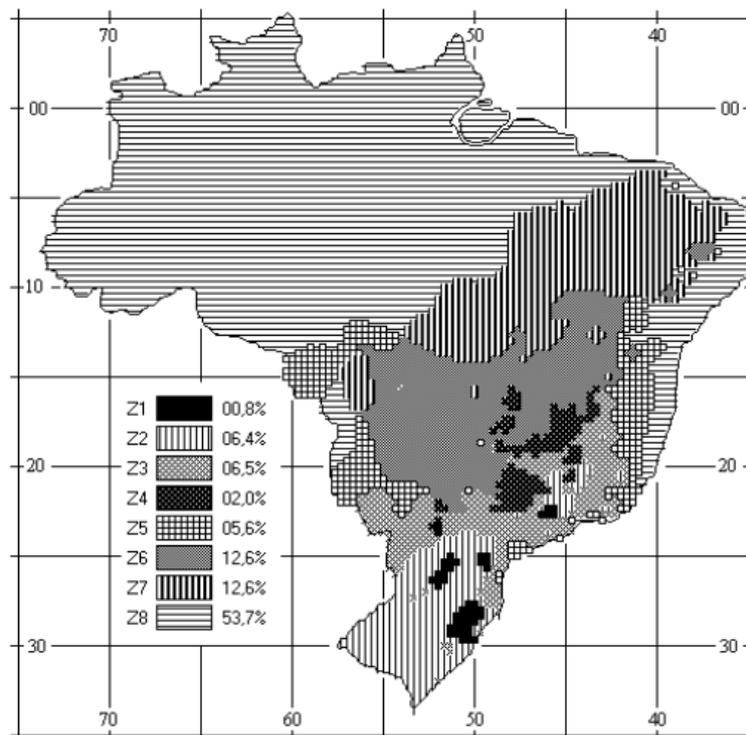


Figura 6. Zoneamento bioclimático brasileiro. Fonte: NBR 15.220-3:2005

Os critérios para avaliação de desempenho térmico segundo a NBR 15.220:2005 determinam outros fatores como a resistência térmica superficial, observada na Tabela 1, e as propriedades dos materiais apresentadas na Tabela 2. Adota-se para vedações verticais, a direção horizontal de fluxo do calor.

Tabela 1. Resistência térmica superficial interna e externa. Fonte: NBR 15.220-2:2005.

R_{si} ($m^2.K$)/W			R_{se} ($m^2.K$)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Tabela 2. Propriedade dos materiais. Fonte: NBR 15.220-2:2005.

Materiais	Densidade de massa aparente (ρ)	Condutividade térmica (λ)	Calor específico (C)
	[Kg/m ³]	[W/(m.K)]	[kJ/(kg.K)]
Argamassa	1800 - 2100	1,15	1,00
Cerâmica	1300 - 1600	0,90	0,92
Gesso	1100 - 1300	0,50	0,84

O método de cálculo utilizado para a determinação dos valores de desempenho térmico dos protótipos segue os passos da Figura 7, conforme determina a NBR 15.220-2:2005.



Figura 7. Fluxograma do cálculo para desempenho térmico.

A obtenção dos resultados através dos cálculos e dos resultados coletados em laboratório proporciona dados para uma correlação entre eles e, assim, torna-se possível verificar a legitimidade dos mesmos, seguindo para posterior análise do nível de satisfação de conforto térmico conforme NBR 15.575-4:2013.

Resultados

Os resultados dos cálculos do desempenho térmico conforme a NBR 15.220-2:2005 estão apresentados na Tabela 3. Para a obtenção dos valores de resistência e transmitância térmica deve-se primeiramente calcular a resistência térmica da parede e adicionar o valor encontrado à resistência superficial interna e externa chegando-se, assim, a uma resistência total (RT). Após esse processo determina-se então a transmitância térmica (U), a capacidade térmica (CT) e, por fim, o atraso térmico (ϕ).

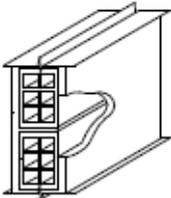
Tabela 3. Resultado dos cálculos do desempenho térmico conforme a NBR 15.220-2:2005.

Protótipo	RT (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)	CT (kJ/m ² .K)	Atraso Térmico (horas)
PROT-G1.0	0,3836	2,61	120,41	3,65
PROT-G1.5	0,3967	2,52	126,46	3,85
PROT-G2.0	0,4095	2,44	132,47	4,04
PROT-A2.0	0,3801	2,63	152,23	4,29

Após análise, observa-se nas paredes que utilizam gesso uma gradual elevação na resistência térmica, na capacidade térmica e no atraso térmico conforme a espessura do revestimento interno aumenta, assim como, a diminuição na transmitância térmica.

A NBR 15.220-3:2005 apresenta os valores tabelados para alguns modelos de vedações verticais, conforme apresenta a Tabela 4. Pode-se observar os valores de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e atraso térmico (ϕ), comparando com o protótipo PROT-A2.0 que mais se assemelha devido aos revestimentos internos e externos serem de argamassa e espessura de 13cm. Os valores tabelados coincidem com os calculados, dando confiabilidade aos cálculos apresentados.

Tabela 4. Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	ϕ [horas]
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3

A NBR 15.575-4:2013 estabelece os critérios mínimos para o desempenho térmico em vedações verticais externas. Os quesitos exigidos são os de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT). A Figura 8 mostra a transmitância térmica, relativa aos dados apresentados na tabela de resultados dos cálculos de desempenho térmico (Tabela 3).

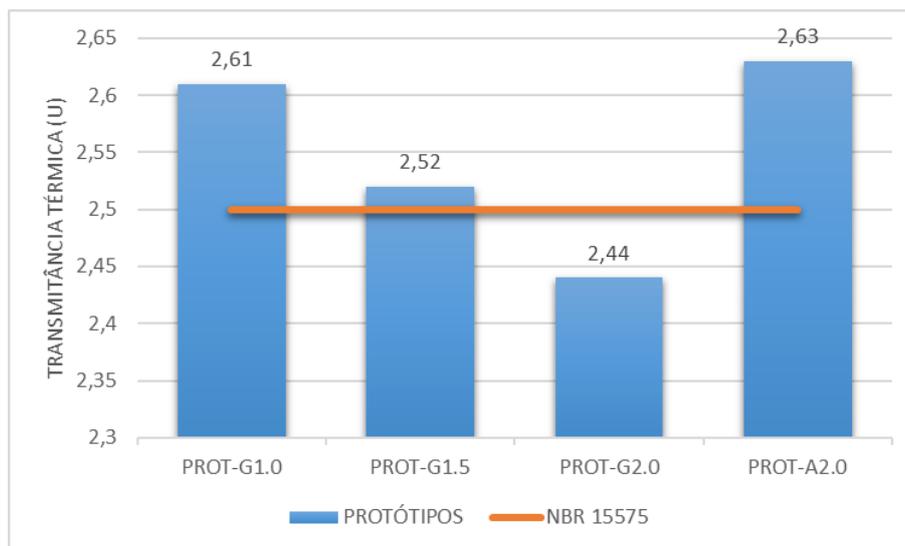


Figura 8. Transmitância térmica (U).

Com os valores apresentados no gráfico observa-se que o protótipo PROT-G2.0 é o único que atende a NBR 15.575-4:2013 nesse quesito. O valor para esse parâmetro considera a zona bioclimática 2 ($U \leq 2,5$), conforme pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Transmitância térmica de paredes externas NBR 15.575-4:2013.

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

A Figura 9 mostra a capacidade térmica dos protótipos em relação ao valor mínimo estabelecido pela NBR 15.575-4:2013. Os valores para amostragem do gráfico estão apresentados na Tabela 3.

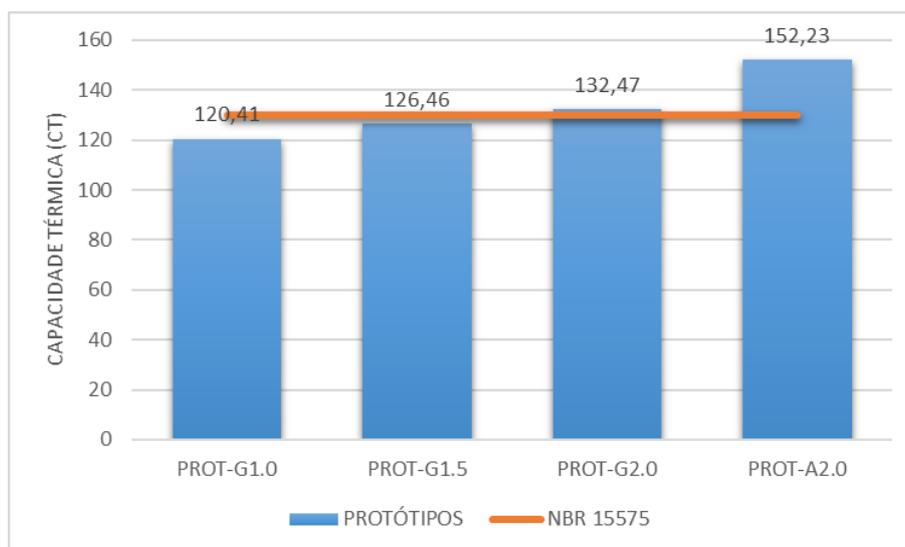


Figura 9. Capacidade térmica (CT).

Conforme gráfico apresentado na Figura 9, observa-se que o protótipo PROT-G2.0 e o protótipo PROT-A2.0 atendem a norma nesse quesito. Os dois protótipos citados são os que possuem maior espessura (13cm), justificando o valor superior em relação aos dois menos espessos. O valor para esse parâmetro considera a zona bioclimática 2 ($CT \geq 130$) conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6. Capacidade térmica de paredes externas NBR 15575-4:2013.

Capacidade térmica (CT)	
$\text{kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Conforme os resultados obtidos, considerando a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (CT), observa-se que o único protótipo que atende os dois quesitos é o protótipo 3 (PROT-G2.0) o qual possui revestimento interno em gesso com espessura de 2 cm. A obtenção do resultado positivo deve-se à densidade aparente e calor específico do material (gesso), quando comparado a argamassa industrializada. A diferença entre a espessura do revestimento interno nos protótipos 1 (1,0cm), 2 (1,5cm) e 3(2,0cm) é significativa para os resultados obtidos.

No ensaio de fluxo térmico (Figura 10) vê-se as imagens térmicas no início e no final do ensaio.

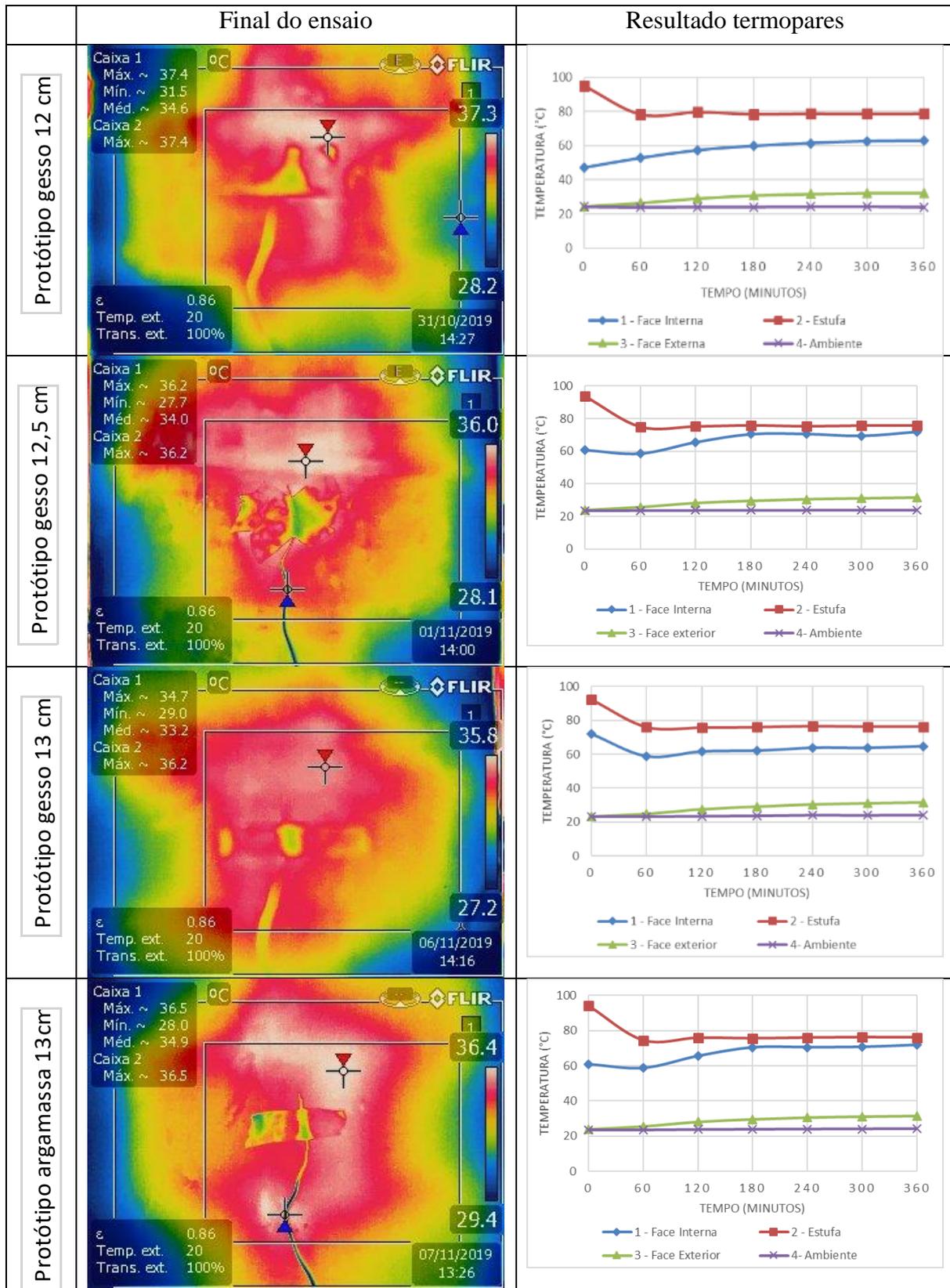
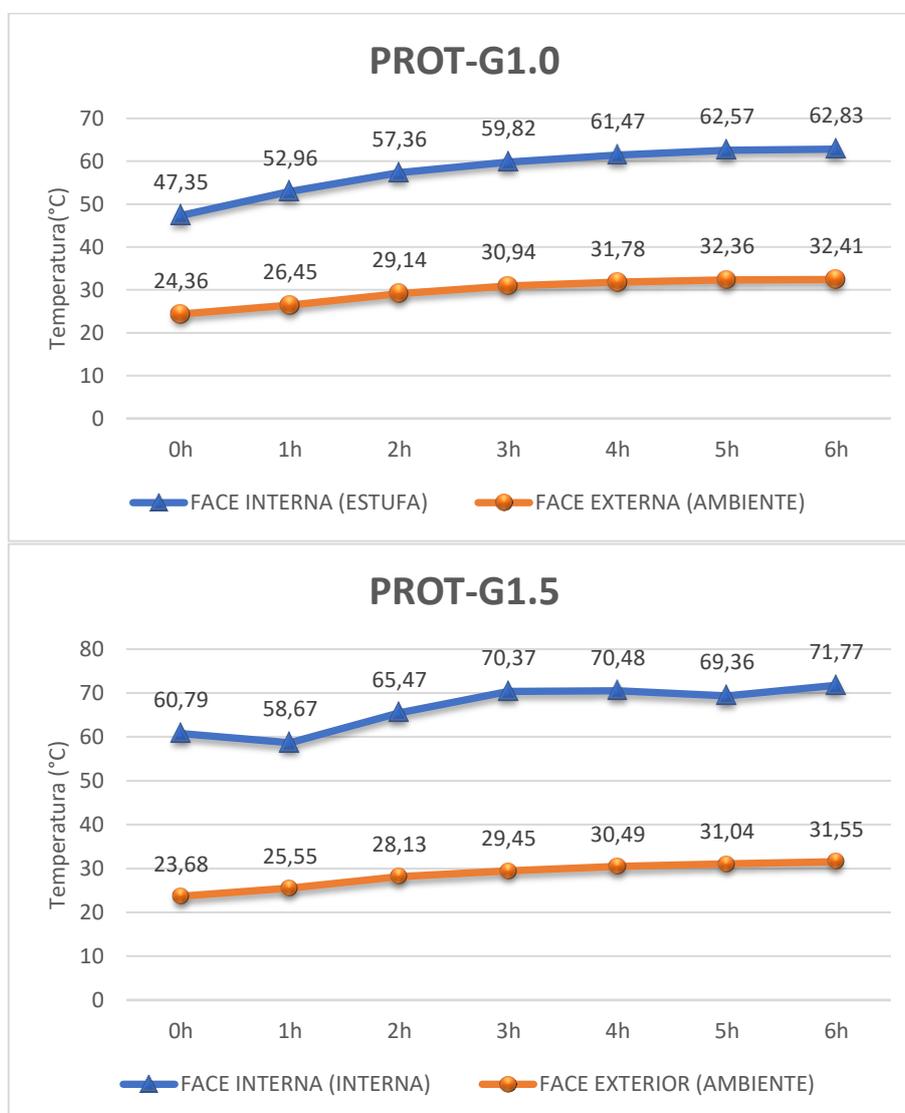


Figura 10. Ensaio termográfico nos protótipos.



Os resultados aferidos com os termopares apresentaram um comportamento constante e bem similar para os 4 protótipos. A temperatura inicial da estufa apresenta-se mais elevada no início devido a própria funcionalidade do aparelho, ficando estável a partir da primeira hora de ensaio. A leitura da face interna mostra-se variável entre os protótipos devido a movimentações internas da placa ou possível afastamento da face não sendo possível o ajuste do termopar uma vez que o ensaio se tenha iniciado.

A leitura da face externa mostra um gradiente regular entre os quatro protótipos, a temperatura ambiente manteve-se em $23,5^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ entre todos os 4 ensaios. A Figura 11 traz a relação entre a temperatura da face interna e da face externa dos protótipos.



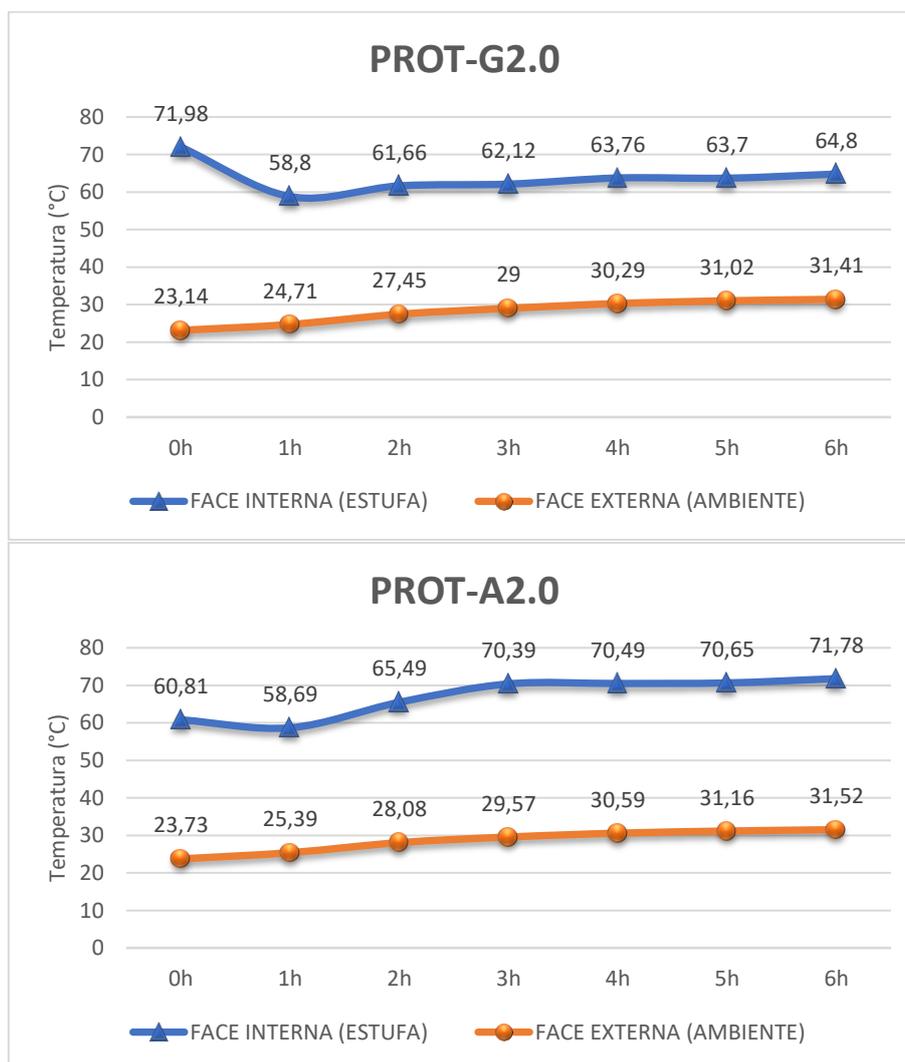


Figura 11. Resultado dos termopares na face interna e externa dos protótipos.

Através dos gráficos pode-se observar a diferença de 1°C na face exterior ao forno entre o protótipo 1 (PROT-G1.0) e o protótipo 3 (PROT-G2.0). O protótipo 4 (PROT-A2.0) apresenta uma temperatura superior ao protótipo 3 (PROT-G2.0), que possui a mesma espessura, porém revestimentos internos distintos, mostrando um melhor desempenho térmico com a utilização de gesso. Esses valores confirmam a relação entre os cálculos apresentados e os testes realizados.

A Figura 12 mostra os gráficos das temperaturas coletadas da face externa dos protótipos e a linha de tendência, através da regressão linear determina-se a equação da reta o coeficiente de determinação (R^2), o qual demonstra o percentual de variabilidade do coeficiente Y. A Tabela 6 expressa essas equações e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

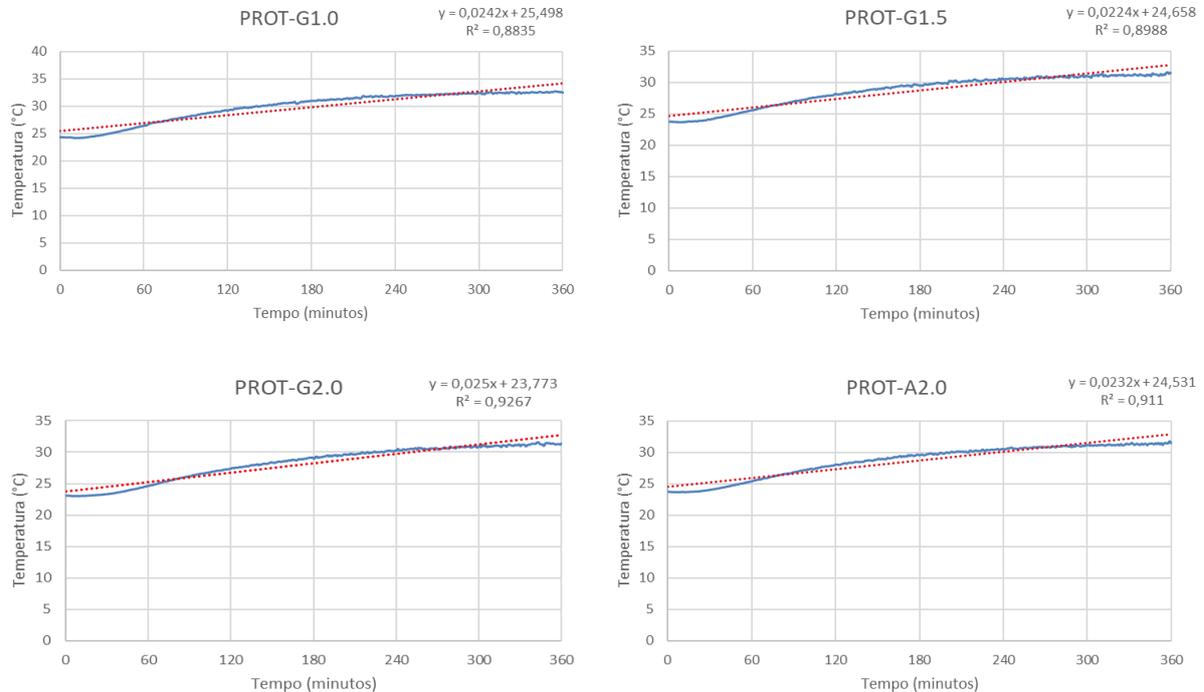


Figura 12. Resultado dos termopares na face externa dos protótipos com a linha de tendência, equação da reta e R^2 .

Tabela 6. Equação da reta e coeficiente de determinação

Protótipo	Equação da reta	R^2
PROT-G1.0	$y = 0,0242x + 25,498$	0,8835
PROT-G1.5	$y = 0,0224x + 24,658$	0,8988
PROT-G2.0	$y = 0,0250x + 23,773$	0,9267
PROT-A2.0	$y = 0,0232x + 24,531$	0,9110

O coeficiente de determinação (R^2), é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, com variação entre 0 e 1, indica em percentagem o quanto o modelo explica os valores obtidos. Fazendo uso da equação da reta pode-se aplicar na variável “x” o fator tempo e assim obter a variável “y” e então correlacionar os resultados coletados com os resultados calculados. Os resultados obtidos apresentam-se nas Figuras 13, 14, 15 e 16 em forma de tabela e gráfico.

PROT-G1.0		
Tempo	Temperatura Coletada (°C)	Temperatura calculada (°C)
0h	24,36	25,50
1h	26,45	26,95
2h	29,14	28,40
3h	30,94	29,85
4h	31,78	31,31
5h	32,36	32,76
6h	32,41	34,21

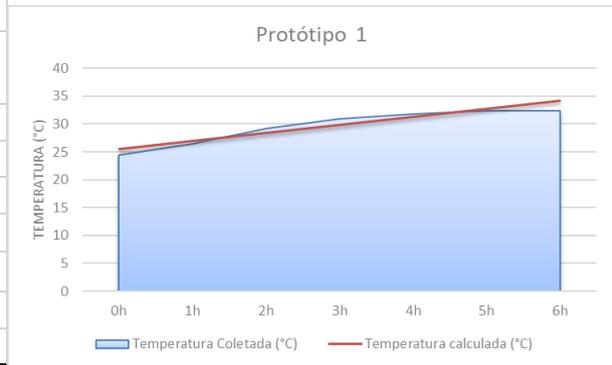


Figura 13. Resultado da temperatura pela equação da reta e gráfico representativo protótipo 1.

PROT-G1.5		
Tempo	Temperatura Coletada (°C)	Temperatura calculada (°C)
0h	23,68	24,66
1h	25,55	26,00
2h	28,13	27,35
3h	29,45	28,69
4h	30,49	30,03
5h	31,04	31,38
6h	31,55	32,72

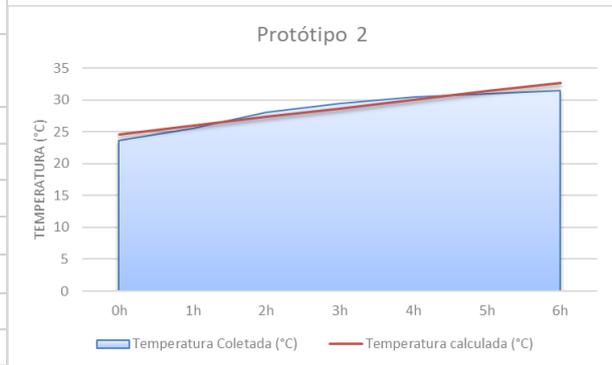


Figura 14. Resultado da temperatura pela equação da reta e gráfico representativo protótipo 2.

PROT-G2.0		
Tempo	Temperatura Coletada (°C)	Temperatura calculada (°C)
0h	23,14	23,77
1h	24,71	25,27
2h	27,45	26,77
3h	29	28,27
4h	30,29	29,77
5h	31,02	31,27
6h	31,41	32,77

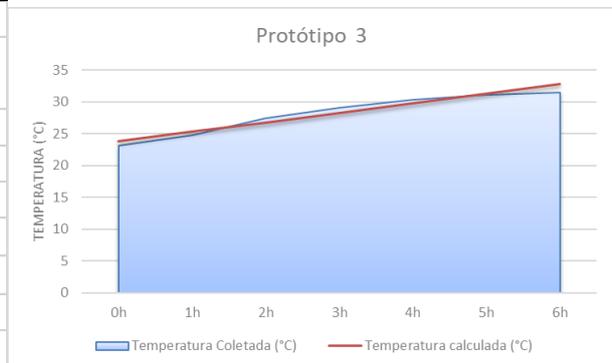


Figura 15. Resultado da temperatura pela equação da reta e gráfico representativo protótipo 3.

PROT-A2.0		
Tempo	Temperatura Coletada (°C)	Temperatura Calculada (°C)
0h	23,73	24,53
1h	25,39	25,92
2h	28,08	27,32
3h	29,57	28,71
4h	30,59	30,10
5h	31,16	31,49
6h	31,52	32,88

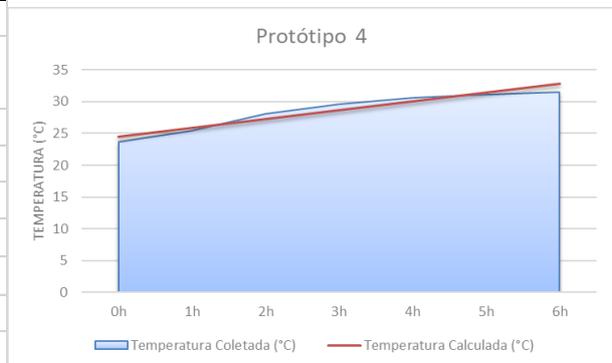


Figura 16. Resultado da temperatura pela equação da reta e gráfico representativo protótipo 4.

A aplicação da equação da reta obtida através da regressão linear mostra um valor muito próximo aos resultados obtidos com os termopares na face externa, porém entre a 4ª e 5ª horas



de ensaio nota-se um declínio na curva da coleta de temperatura com os termopares, não garantindo a eficiência da equação após esse período, onde os resultados seguem uma linearidade.

Os resultados obtidos e calculados na 6ª hora de ensaio mostram uma diferença de temperatura superior a 1°C em todos os protótipos e a tendência é que essa diferença aumente com o passar do tempo. Para determinar uma melhor equação deve-se aplicar o teste por um período superior ao testado nesse trabalho e assim comprovar ou não a tendência de crescimento na temperatura calculada e uma possível estabilização na temperatura coletada.

Para a determinação do nível de desempenho térmico a NBR 15.575-1:2013 expressa através da Tabela 7 o valor máximo diário da temperatura do ar de recintos de permanência prolongada. Dá-se três níveis de desempenho sendo eles mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Na Tabela 8 apresenta-se o valor da variação de temperatura entre a face interna e face externa ao final do ensaio.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 10 \text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 20 \text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 10 \text{C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Tabela 7. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Variação de temperatura (°C) - Interna x externa				
Protótipo	Tempo	Face Interna	Face Externa	Variação
1	6h	62,83	32,41	30,42
2	6h	71,77	31,55	40,22
3	6h	64,8	31,41	33,39
4	6h	71,78	31,52	40,26

Tabela 8. Temperatura dos protótipos ao final do ensaio.

O protótipo 3 (PROT-2.0) teve resultados aceitáveis nos critérios de avaliação segundo NBR 15.575-4:2013 conforme mostrado na Figura 8 e Figura 9. Por análise simplificada, esse protótipo atende as exigências com nível mínimo (M). Para análise detalhada necessita-se fazer



os testes expostos nesse trabalho resultando nos dados da Tabela 8, onde mostra a variação de temperatura entre as faces ao final do ensaio.

Relacionando os critérios da Tabela 7 com os resultados da Tabela 8, nota-se uma variação exacerbada que atenderia com nível superior (S) todos os protótipos mesmo que esses, através dos cálculos apresentados, não tenham atingido uma capacidade térmica e transmitância térmica aceitáveis, com exceção ao protótipo 3 (PROT-G2.0).

Sendo assim os resultados dos testes não revelam uma real situação de campo, devendo ser aplicado de forma diferenciada. Contudo, mostram regularidade quanto a espessura dos componentes e propriedade dos materiais tendo veracidade quando comparado aos cálculos realizados com as leituras obtidas.

Conclusão

O gesso apresenta em suas características de condutividade térmica e calor específico um desempenho significativo como material isolante. A densidade de massa aparente pode variar nos resultados térmicos, uma maior densidade gera uma maior capacidade térmica da parede. O gesso necessita de um certo cuidado no manuseio e aplicação pois seu ponto de pega e endurecimento são muito próximos e rápidos. A aglutinação do material deixa a parede com um aspecto desfavorável, deve-se aplicar sempre um material novo e bem desagregado para um bom aspecto visual, contudo, o aspecto não interfere no resultado.

Com os resultados apresentados ficou claro que o único protótipo que atende a norma é o de número 3, que apresenta espessura de 13cm e revestimento interno em gesso de 2cm o que leva a concluir que para as vedações verticais externas, fica excluído o uso de argamassa comum como revestimento em bloco cerâmico de 6 furos com 9cm. Quando maior a largura do bloco, melhor o desempenho térmico da parede, isso já encontra-se calculado através de modelos na NBR 15.220-3:2005.

A NBR 15.575 determina outros quesitos além do desempenho térmico a serem abordados e testados para uma real aplicação e um real desempenho do gesso como revestimento interno das vedações verticais externas, mas nesse quesito apresentou-se satisfatório.

Como recomendação pode-se protótipos com blocos cerâmicos de maior largura para uma diminuição da espessura do revestimento interno, testar um número maior de protótipos



idênticos para a obtenção de diferentes valores com o intuito de achar o desvio padrão entre os mesmos e determinar uma equação da reta mais precisa. Aplicar aditivos a argamassa de gesso para uma melhor trabalhabilidade do material e possível melhora no desempenho térmico. Acoplar o termopar junto ao revestimento interno para que não haja movimentações na hora do teste e tenha uma coleta de dados mais precisa. Diminuir a temperatura da etufa e aumentar o tempo de exposição para uma leitura mais precisa da variabilidade de temperatura dos ambientes.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho**. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho**. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações**. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável**. 2013. Disponível em: <www.idhea.com.br>. Acesso em: 31 out. 2018.

BISPO, Vagner Minoru Shiguematsu; FRÓIS, Marcos Rodrigues. A aplicabilidade do gesso no processo de industrialização da construção civil. In: ETIC 2017 - ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIÊNCIA, 1., 2017, São Paulo. **A aplicabilidade do gesso no processo de industrialização da construção civil**. São Paulo: Toledo, 2017. v. 1, p. 1 - 14.

BONIN, L. C. (Coord.). Manuais de referência técnica. In: SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL - Gestão e tecnologia, 2., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, NORIE, UFRGS, 1993.

BRASIL. **Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT: Instituições Técnicas Avaliadoras**. Ministério das Cidades. Brasília, 2015. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 10 set. 2018.



BRASIL. WWF. (Org.). **O que é desenvolvimento sustentável?** 2018. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/>. Acesso em: 31 out. 2018.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais**: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2ª ed. Brasília: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

COSTELLA, M. F.; SOUZA, N. S.; PILZ, S. E.; LANTELME, E. M. V. Análise dos métodos de avaliação na coletânea de normas de desempenho com enfoque nos ensaios. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 9, n. 1, p. 167-176, 2017.

CARUBIM, Karline. **Elaboração de check list comparativo entre listas de verificação da norma de desempenho e aplicação em empresas de Chapecó (SC)**. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, UNOCHAPECÓ, Chapecó (SC), 2017.

FILHO, Vamberto Machado dos Santos et al. **Ferramenta para projetos de vedações verticais externas com base nas exigências da norma de desempenho**. Revista eletrônica de engenharia civil, Ufg, ano 2014, v. 8, n. 3, p. 51-62, 16 fev. 2014. Disponível em: <http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>. Acesso em: 4 abr. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo: IPT, 1998, 84p.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios**: interação entre as condições ambientais e a forma construída. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2000. 107p.

POYASTRO, Patricia Carone. **Influência da volumetria e das condições do entorno da edificação na manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Cap. 1.

SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P., Estabelecimento de um índice de chuva dirigida para Porto Alegre. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Rio de Janeiro, 1995. **Anais...** v2. Rio de Janeiro. 1995. p. 605-610.

SILVA, Cristiane Araujo do Santos; COSTA, Jocymara Antonia Raiol. **Ciclo da produção de gesso**: Ênfase reciclagem. 2013. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Ideal, Belém, 2013. Cap. 1.

SIRTOLI, Alex Sandro Couto. **Industrialização da construção civil, sistemas pré-fabricados de concreto e suas aplicações**. 2015. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Cap. 1.