



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RHAYSSA NARA FLORENCIO DE QUEIROZ
VICTOR AUGUSTO JERONIMO DE FREITAS

**ESTUDO EM PLACAS E BLOCOS DE GESSO SUBMETIDOS
A ALTAS TEMPERATURAS**

RECIFE, 2017

RHAYSSA NARA F. DE QUEIROZ E VICTOR AUGUSTO J. DE FREITAS

**TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES DE GESSO SUBMETIDAS A
ALTAS TEMPERATURAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Construção Civil e Estruturas

Orientador: Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva

RECIFE 2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

Q3e Queiroz, Rhayssa Nara Florencio de Queiroz.
Desempenho de lajes alveolares protendidas em situação de incêndio / Rhayssa Nara Florencio de Queiroz, Victor Augusto Jeronimo de Freitas. – 2017.
81 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Jeferson do Rego Silva.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil, 2017.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Altas temperaturas. 3. Placas de gesso. 4. Blocos de gesso. 5. Isolante térmico. 6. Resistencia ao fogo. I. Freitas, Victor Augusto Jeronimo de. II. Silva, José Jeferson do Rego. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-63



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 – RHAYSSA NARA FLORENCIO DE QUEIROZ
2 – VICTOR AUGUSTO JERONIMO DE FREITAS

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: JOSÉ JEFERSON DO REGO SILVA

Examinador 1: ANTÔNIO NUNES BARBOSA FILHO

Examinador 2: CLEANDRO OSÉIAS DE SOUZA ALENCAR

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

LOCAL: 1º ANDAR DO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - UFPE

DATA: 06 / 02 / 2017 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 10:30h.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: _____(deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) () aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 = < nota < 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota <3,0)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, de de 20....

Orientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato 1:

Candidato 2:

Coordenação do Curso de Engenharia Civil-Dcivil

Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº. Cidade Universitária. Recife-PE CEP: 50740-530.
Fones: (081)2126.8220/8221 Fone/fax: (081)2126.8219.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior.

Ao nosso orientador Prof. José Jeferson, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Ao engenheiro Cleandro Alencar pelo suporte dado ao longo desta etapa e fornecimento do material estudado nesse trabalho.

A empresa Tecomat por disponibilizar seus equipamentos e máquinas para realização desse trabalho.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”. (Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

Dentre outras aplicações, as placas de gesso são amplamente utilizadas para retardar a propagação do fogo protegendo a estrutura interna devido a molécula de água em sua composição que se opõe a elevação da temperatura. Embora numerosos estudos de transferência de calor tenham sido realizados, não existem normas e legislações nacionais que definem a espessura mínima e o tempo mínimo de resistência ao fogo dos materiais isolantes, principalmente do gesso. Para entender o comportamento do gesso em relação à sua espessura foram realizadas análises experimentais para elucidar o seu principal fator abordado neste trabalho, o de isolante térmico. Uma metodologia baseada tanto na caracterização do gesso em temperatura ambiente em três densidades distintas de acordo com a EN 12859/2008 como uma análise da resistência do gesso submetido a altas temperaturas. Para isso foi ensaiado um protótipo de parede divisória de 10cm no forno submetido à norma ISO834, cinco placas de gesso de 1cm cada acopladas com termopares entre si e duas paredes de 5cm de blocos de gesso pré-moldados. Nestas últimas a taxa de aquecimento do forno não seguiu a curva padrão de norma, mesmo assim, foi possível verificar suas condições conservadoras em relação ao desempenho frente ao fogo, não aparecendo nenhuma fissura na face não exposta em nenhum dos ensaios.

Palavras chave: Altas temperaturas. Placas de gesso. Blocos de gesso. Isolante térmico. Resistencia ao fogo.

ABSTRACT

Among other applications, gypsum plasterboards are widely used to retard fire propagation, protecting the internal structure, due to water molecules in your composition that fight the rise of temperatures. Although multiple studies on heat transfer have been realized, there are no national standards or legislation that define the minimum thickness nor the minimum period of fire resistance of insulating materials, especially the gypsum. Experimental analysis was performed to better understand how the gypsum behaves by varying its thickness and to enlighten the principal function of the material for this study: thermal insulation. It is a methodology based the description of gypsum subjected to ambient temperature in three distinct densities, according to EN 12859/2008, as well as an analysis of the gypsum resistance at high temperatures. Therefore, were tested a 10cm drywall prototype in a furnace subjected to standard ISO834, five 1cm gypsum plasterboards coupled with thermocouples between then and two 5cm walls made from precast gypsum blocks. In these latter heating rates the standard curve is not followed, even though its conservative conditions can be verified in relation to fire performance, no cracks appear on the unexposed face in none of the tests.

Keywords: High temperatures. Gypsum plasterboards. Gypsum blocks. Thermal insulating. Fire resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Peneiramento Manual	31
Figura 2 – Pesagem em balança analítica	31
Figura 3 - Ensaio da massa unitária	33
Figura 4 - Ensaio de consistência normal	35
Figura 5 - Aparelho de Vicat.....	36
Figura 6 – Ensaio de tração na flexão	38
Figura 7 – Ensaio de dureza	40
Figura 8 - Ensaio de Resistência à compressão em corpos de prova retangulares	41
Figura 9 - Ensaio de Resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos	41
Figura 10 – Equipamentos utilizados na obtenção dos dados.....	45
Figura 11 – União das placas	45
Figura 12 – Posicionamento dos termopares nas placas	45
Figura 13- Posicionamento dos termopares na face externa da parede 1	46
Figura 14 – Posicionamento dos termopares no interior do forno	46
Figura 15 - Posicionamento dos termopares na face externa da parede 2	46
Figura 16 – Forno Vertical.....	47
Figura 17 – Face exposta ao forno	47
Figura 18- Face exposta ao forno.....	70
Figura 19 – Ensaio de estanqueidade e isolamento.....	71
Figura 20 – Face não exposta ao forno	74
Figura 21 – Face exposta ao forno	74
Figura 22 – Face não exposta ao forno	75
Figura 23 – Face exposta ao forno	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Calcinação do gesso α e β	18
Gráfico 2 - Curvas de tempo x temperatura para incêndio padrão	23
Gráfico 3 - Curvas padrão ASTM-E119 e ISO 834.....	24
Gráfico 4 – Condução térmica das placas em vários estudos	25
Gráfico 5 – Calor específico das placas em vários estudos	26
Gráfico 6 – Densidade relativa das placas em vários estudos.....	27
Gráfico 7 – Curva padrão ISO 834	44
Gráfico 8 – Massa x tempo função quadrática – consistência 0,7	50
Gráfico 9 – Massa x tempo função linear– consistência 0,7.....	50
Gráfico 10 – Massa x tempo função quadrática – consistência 0,8	51
Gráfico 11 – Massa x tempo função linear – consistência 0,8.....	51
Gráfico 12 – Massa x tempo função quadrática – consistência 1,1	52
Gráfico 13 – Massa x tempo função linear – consistência 1,1.....	52
Gráfico 14 – Consistência x penetração.....	55
Gráfico 15 – Consistência x Início de pega	57
Gráfico 16 – Consistência x fim de pega	58
Gráfico 17 – Consistência x resistência à tração na flexão.....	59
Gráfico 18 – Consistência x dureza	60
Gráfico 19 –Consistência x resistência à compressão corpos de prova cilíndricos	62
Gráfico 20 – consistência x resistência à compressão corpos de prova prismáticos	63
Gráfico 21 – Temperatura inicial	65
Gráfico 22 – Temperaturas x placa 1	65
Gráfico 23 – Temperaturas x placa 2	66
Gráfico 24 – Temperaturas x placa 3	66
Gráfico 25 – Temperatura final.....	67
Gráfico 26 – Acréscimo de temperatura no centro das placas.....	67
Gráfico 27 – Acréscimo de temperatura na diagonal superior das placas	68
Gráfico 28 – Tempo x temperatura – termopar 1.....	68
Gráfico 29 – Tempo x temperatura – termopar 2.....	69
Gráfico 30 – Termopares na parede 1	72
Gráfico 31 – Termopares na parede 2.....	72

Gráfico 32 – Termopares na parede 1	73
Gráfico 33 – Termopares na parede 2	73
Gráfico 34 – Termopares no interior do forno Fonte: Autores	76
Gráfico 35 – Termopares na face não exposta ao forno.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados do ensaio de densidade	49
Tabela 2 – Erro percentual das densidades	53
Tabela 3 - Módulo de finura	53
Tabela 4 - Ensaio de massa unitária.....	54
Tabela 5 - Ensaio de consistência normal.....	54
Tabela 6 – Ensaio de início e fim de pega.....	56
Tabela 7 – Média dos tempos de pega	57
Tabela 8 – Ensaio de Resistência à tração na flexão.....	58
Tabela 9 – Ensaio de dureza	60
Tabela 10 – Dureza em N/mm ²	60
Tabela 11 – Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos.....	61
Tabela 12 – Ensaio de compressão dos corpos de provas prismáticos	62
Tabela 13 – Tabela comparativa dos resultados	64
Tabela 14 – Tabela de outros estudos	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa e motivação	15
1.2	Objetivos gerais e específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Gipsita	16
2.2	Processo de obtenção do gesso	17
2.3	Aplicação do gesso	18
2.4	Propriedades do gesso	19
2.4.1	Propriedades do gesso em pó	19
2.4.2	Propriedades da pasta de gesso	20
2.4.3	Propriedades físicas do gesso endurecido	21
2.5	Gesso como isolante térmico	21
2.6	Itens que contribuem para a análise da resistência ao fogo.....	22
2.7	Propriedades térmicas das placas de gesso de acordo com vários pesquisadores	24
2.7.1	Termocondutividade	24
2.7.2	Calor específico.....	25
2.7.3	Densidade relativa.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	Classificação da Pesquisa	28
3.2	Planejamento da Pesquisa.....	28
3.2.1	Procedimento de coleta e interpretação dos dados.....	28
3.3	Determinação das Densidades	28
3.4	Determinação das propriedades físicas do pó.....	29
3.4.1	Granulometria	29
3.4.2	Massa unitária	32
3.4.3	Módulo de finura.....	33
3.5	Determinação das propriedades físicas da pasta.....	33
3.5.1	Consistência normal	34
3.5.2	Determinação do tempo de pega	35

3.6	Determinação das propriedades mecânicas	37
3.6.1	Resistência à tração na flexão	37
3.6.2	Dureza	38
3.6.3	Resistência à compressão	40
3.7	Determinação das propriedades térmicas.....	42
3.7.1	Ensaio em altas temperaturas	42
3.7.2	Estanqueidade e Isolamento	48
4	Resultados e discussões.....	49
4.1	Resultado do ensaio de densidade	49
4.2	Resultado do ensaio de granulometria:	53
4.3	Resultado do ensaio de massa unitária:	54
4.4	Resultado do ensaio de consistência normal.....	54
4.5	Resultado do ensaio do tempo de pega:	56
4.6	Ensaio de Resistência à tração na flexão	58
4.7	Ensaio de Dureza	59
4.8	Ensaio de Resistência à compressão	61
4.9	Ensaio em altas temperaturas	64
4.9.1	Placas de 1cm:	64
4.9.2	Parede de 5 cm	71
4.9.3	Parede de 10 cm:	76
5	Conclusão e sugestão	78
5.1	Conclusão.....	78
5.2	Sugestões	79
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1 INTRODUÇÃO

Ao se projetar uma edificação, o profissional necessita verificar inúmeros aspectos relativos ao desempenho da mesma, entre eles funcionalidade, conforto, resistência estrutural, revestimentos, materiais de vedação empregados e resistência ao fogo.

A “resistência ao fogo” é definida como a capacidade de um elemento estrutural permanecer durante um tempo determinado exercendo as funções para as quais foi projetado, sob a ação de incêndio.

Em muitas situações o projetista pode encontrar dificuldades em simular analítica ou numericamente o comportamento de um elemento estrutural em situação de incêndio. Essas dificuldades podem ser devidas à existência de materiais que não têm definidas, com exatidão, suas propriedades térmicas ou, até mesmo, pela alteração dessas propriedades térmicas quando em trabalho conjunto com outros materiais.

Quando os materiais de revestimento são expostos a uma situação de início de incêndio, a contribuição que possa vir a trazer para o seu desenvolvimento, ao sustentar a combustão, e possibilitar a propagação superficial das chamas, denomina-se "reação ao fogo". As características de reação ao fogo dos materiais, utilizadas como revestimento dos elementos construtivos, são avaliadas em laboratórios, obtendo-se assim subsídios para a seleção dos materiais na fase de projeto da edificação.

A influência de determinado elemento construtivo na evolução de um incêndio se refere à posição relativa do elemento no ambiente, por exemplo, a propagação de chamas na superfície inferior do forro é fator comprovadamente mais crítico para o desenvolvimento do incêndio do que a propagação de chamas no revestimento do piso, pois a transferência de calor, a partir de um foco de incêndio, é, em geral muito mais intensa no forro; neste sentido o material de revestimento do forro deve apresentar um melhor desempenho nos ensaios de laboratório.

Os métodos de ensaio utilizados em laboratório para estas avaliações estipulam condições padronizadas a que os materiais devem ser expostos, que visam a reproduzir certas situações críticas, características dos incêndios antes de ocorrência de inflamação generalizada. O desempenho que a superfície de um elemento construtivo deve apresentar, para garantir um nível mais elevado de segurança contra incêndio, deve ser retirado de uma correlação entre os índices ou categorias obtidas nos ensaios e a função do elemento construtivo (consequentemente, sua provável influência no incêndio).

Os dois métodos de ensaio básicos para avaliar as características dos materiais constituintes do sistema construtivo, sob o ponto de vista de sustentar a combustão e propagar as chamas, são os seguintes;

1) Ensaio de incombustibilidade que possibilitam verificar se os materiais são passíveis de sofrer a ignição e, portanto, estes ensaios possuem capacidade de contribuir para a evolução da prevenção de incêndio;

2) Ensaio da propagação superficial de chamas, por meio do qual os materiais inflamáveis (materiais combustíveis de revestimento) podem ser classificados com relação à rapidez de propagação superficial de chamas e a quantidade de calor desenvolvido neste processo. (CORPO DE BOMBEIROS DE GOIAS, NT 02/14)

Como o gesso é considerado incombustível, os ensaios para definirem os critérios de desempenho relacionados à segurança contra incêndio, particularmente ligados aos elementos construtivos são relativos à resistência ao fogo das paredes, ou seja: devem assegurar isolamento e estanqueidade às chamas. (SINAT nº008)

1.1 Justificativa e motivação

Os projetos estruturais que tratam da resistência ao fogo são baseados no fato de que as altas temperaturas decorrentes de um incêndio reduzem a resistência mecânica e a rigidez dos elementos estruturais da edificação, e, adicionalmente, promovem expansões térmicas diferenciais, podendo levar a estrutura ao colapso.

Para um dimensionamento adequado é necessário o conhecimento das propriedades do material durante e após a ação do fogo, assim como, do mecanismo específico de propagação do calor nos materiais, possibilitando assim a proteção das vidas dos ocupantes, dos bens e das atividades que se desenvolvem no mesmo.

1.2 Objetivos gerais e específicos

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento de placas e paredes divisórias de gesso submetidos à ensaios de elevadas temperaturas.

Como objetivos específicos, pode-se listar:

- Caracterizar o material de estudo realizando ensaios em suas fases em pó, em pasta e sólida.
- Realizar os ensaios de propriedades físicas e mecânicas em três consistências distintas afim de avaliar a influência da água nos resultados.

- Verificar a estanqueidade a gases quentes e nível de fissuração das paredes devido ao aumento de temperatura.
- Estudar o aumento da temperatura ao longo da seção transversal das paredes e comparar com a temperatura limite estimada da NBR 10636.
- Indicar padrões mínimos para a espessura dos revestimentos e paredes de gesso para proteção contra o fogo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gipsita

Na literatura clássica, a palavra gesso pode ser definida como “gipsita cozida a baixa temperatura, que faz pega com a água e é por isso empregada nas moldagens” (AURÉLIO, 1975). Já em termos técnicos, pode-se definir o gesso como sendo um aglomerante não hidráulico e aéreo, de origem mineral, obtido da calcinação da gipsita em temperaturas em torno de 150°C (BAUER, 2001).

Comercialmente chamada de gesso natural, a gipsita é uma rocha sedimentar de origem química e salina, formada quando materiais carregados em suspensão na água são depositados onde a velocidade de transporte do meio diminui e os materiais são precipitados diretamente por efeitos de mudanças nas condições físico-químicas do meio. A gipsita é então formada a partir das reações entre os elementos transportados e outros materiais externos, especialmente o hidrogênio e o oxigênio da água (JORGENSEN, 1994).

A gipsita apresenta uma grande diversidade de opções de aproveitamento industrial, podendo ser utilizada na forma natural ou calcinada. Na sua forma natural, é amplamente utilizada na fabricação de cimento Portland e na agricultura. Na indústria cimenteira, a gipsita é adicionada ao clínquer durante a moagem, na proporção de 2 a 5%, para retardar o tempo de pega do cimento. Na agricultura, a gipsita pode atuar como agente corretivo de solos ácidos, como fertilizante em algumas culturas específicas e como condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e a retenção da água (LINHALES, 2004). Na sua forma calcinada, ela se transforma em gesso, aglomerante inorgânico largamente utilizado na construção civil.

O uso mais antigo do gesso como material de construção foi detectado nas pirâmides do Egito. Após 3.500 anos, o gesso tornou-se um dos mais importantes minerais para a manufatura de materiais de construção (OLIVEIRA e RODRIGUES, 1990).

2.2 Processo de obtenção do gesso

O gesso é obtido através do processo de extração, moagem e calcinação da gipsita. A calcinação é o processo de aquecimento térmico pelo qual a gipsita é desidratada.

O gesso de construção é um aglomerante de baixo consumo de energia. Enquanto a temperatura de processamento do clínquer Portland é de 1450°C, a da cal entre 800°C e 1100°C, a do gesso não ultrapassa 300°C.

A gipsita é um sulfato de cálcio dihidratado, isto é, com duas moléculas de água de cristalização e, segundo a temperatura de desidratação, ela pode perder 1,5 a 2,0 moléculas. As reações químicas para a obtenção do gesso são descritas nas equações 1, 2, e 3 (NITA et al, 2004).



A mistura das frações hemidrato ou anidrita solúvel com a água a temperatura ambiente provoca o seu endurecimento através de um processo que envolve a dissolução do gesso em água, seguida de precipitação na forma de dihidrato, liberando calor, conforme mostrado na equação 4 (NITA et al, 2004).



O processo de calcinação pode ser realizado em diferentes tipos de fornos, que podem variar basicamente em quatro tipos: panela, marmita, rotativo tubular e tipo marmita rotativo. No pólo gesseiro de Pernambuco são encontrados cerca de 400 fornos em atividades, com predominância de fornos dos tipos panela, marmita vertical, marmita horizontal e o rotativo de queima indireta.

Dependendo do processo de calcinação, pode-se obter dois tipos diferentes de gesso, o gesso beta e o gesso alfa. Se a desidratação é realizada em autoclave em pressões superiores a 100 KPa, a formação do hemidrato dá-se pelo mecanismo de dissolução – cristalização, em meio líquido, formando assim o hemidrato alfa (α). O gesso alfa é caracterizado por apresentar

cristais compactos, regulares e resistentes. Dentre as suas principais utilizações estão: matrizes para indústria cerâmica; indústria de modelagem (usados por artistas plásticos); ortopedia; bandagens médicas; odontologia e na indústria automobilística (BALTAR et al, 2003).

Se a desidratação é realizada à pressão atmosférica, com pressão parcial de vapor de água baixa, obtém-se o hemidrato beta, um sólido microporoso, mal cristalizado, utilizado na indústria da construção civil, indústria cerâmica e indústria de modelagem. Dentre os tipos de gesso beta, destacam-se os de fundição e os de revestimento manual, sendo ambos produzidos no Brasil sem a adição de aditivos químicos (BALTAR et al, 2003).

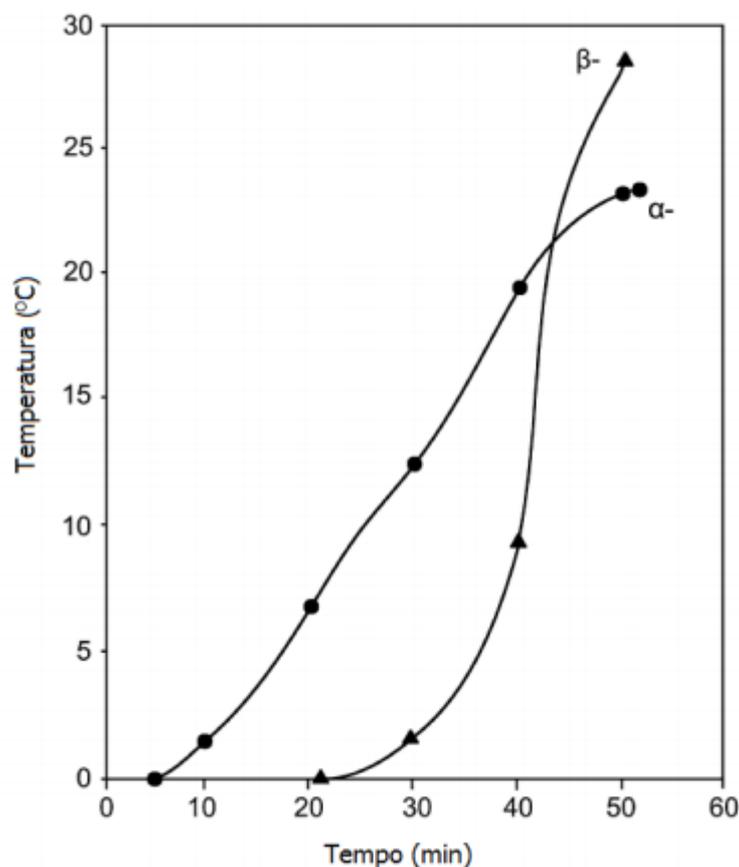


Gráfico 1- Calcinação do gesso α e β

Fonte: SINGH, N. B; MIDDENDORF, B. 2007

2.3 Aplicação do gesso

O gesso encontra a sua maior aplicação na indústria da construção civil e sua utilização vem sendo intensificada, devido principalmente ao fator socioeconômico, na medida em que é um produto que tem atendido às expectativas dos usuários e construtores, pois proporciona uma

maior velocidade de aplicação e, por consequência, ajusta-se melhor aos apertados cronogramas de execução das obras, a um preço competitivo.

O gesso apresenta características muito importantes, como por exemplo a de endurecimento rápido, permitindo a produção de componentes sem tratamento de aceleração de pega. Os seus componentes, por sua vez, têm uma linha de utilização diferenciada, em virtude de apresentarem características de isolamento térmica, acústica e resistência ao fogo.

Dentre as várias aplicações do gesso na construção civil, é possível citar algumas delas como: decoração de interiores, massa para revestimento interno, placas pré-moldadas para forros e acabamento, painéis para paredes divisórias e fabricação de painéis de gesso acartonado.

Como revestimento interno, o gesso apresenta propriedades extremamente atraentes, entre elas, a aderência em vários tipos de substratos e o endurecimento rápido que proporciona rapidez na execução dos serviços. Além disso, destaca-se por proporcionar um excelente acabamento final nas paredes e tetos de construções, dispensando o uso de outro material de acabamento (CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C, 1985).

O gesso também é muito utilizado como painéis de forro e paredes divisórias. Existe no mercado uma ampla variedade de modelos e tipos de painéis para forros que podem ser fixos ou removíveis e com modulação variada em placas rejuntadas, dando um aspecto monolítico e uniforme. As placas para forro destacam-se por proporcionarem um fechamento rápido, de fácil execução, e que permite acesso para a manutenção das instalações elétricas e hidráulicas e variações da configuração para ajuste do nível de desempenho final. O forro de gesso é bastante utilizado em rebaixos de banheiro de prédios altos, com o intuito de esconder as instalações de esgoto do banheiro do andar imediatamente superior (CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C, 1985).

2.4 Propriedades do gesso

2.4.1 Propriedades do gesso em pó

2.4.1.1 Granulometria

A granulometria do gesso é determinada por meio de uma série de peneiras padrão, segundo a NBR 12127. Tem como objetivo obter o módulo de finura do gesso, que é um índice que representa globalmente a finura do material e é calculado pelo somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série padrão, dividido por 100. Assim, com o módulo de

finura definido podemos classificar o gesso para seu tipo de utilização segundo as exigências físicas da NBR 13207.

Gessos de elevada finura dão pega mais rápida e atingem maiores resistência, em razão do aumento da superfície específica, disponível para a hidratação.

2.4.1.2 *Massa unitária*

A massa unitária do gesso é a relação entre a massa não compactada de material e o volume do recipiente, seguindo os passos descritos na NBR 12127.

2.4.2 Propriedades da pasta de gesso

2.4.2.1 *Consistência normal*

A consistência normal é a relação água/gesso determinada como descrito na NBR 12128, na qual se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação.

2.4.2.2 *Tempo de início e fim de pega*

O tempo de início de pega é o tempo decorrido a partir do momento em que o gesso tomou contato com a água, até o instante em que a agulha do aparelho de Vicat não penetrar mais no fundo da pasta, isto é, aproximadamente 1mm da base.

Já o fim de pega é o tempo decorrido a partir do momento em que o gesso entrou em contato com a água, até o instante em que a agulha do aparelho de Vicat não mais deixar impressão na superfície da pasta.

O tempo de início e fim de pega pode ser influenciado por:

- Temperatura e tempo de calcinação;
- Finura;
- Quantidade de água de amassamento;
- Presença de impurezas ou aditivos.

A calcinação realizada em temperatura mais elevadas ou durante tempo mais longo conduz à produção de material de pega mais lenta, porém de maior resistência.

A quantidade de água de amassamento influencia negativamente o fenômeno da pega e do endurecimento, que por deficiência, que por excesso.

2.4.3 Propriedades físicas do gesso endurecido

2.4.3.1 Dureza

É calculada pela profundidade de impressão de uma esfera, sob uma carga fixa, em corpo de prova, segundo o procedimento descrito na NBR 12129.

2.4.3.2 Resistência à compressão

Calculada em função da carga de ruptura em corpos de prova, segundo procedimento descrito na NBR12129.

2.4.3.3 Isolamento

As pastas endurecidas de gesso gozam de excelentes propriedades de isolamento térmico, isolamento acústico e impermeabilidade ao ar. Sua condutibilidade térmica é muito fraca (0,40 cal/h/cm²/°C/cm). O gesso é material que confere aos revestimentos com ele realizados considerável resistência ao fogo. A água de cristalização é eliminada, reduzindo o material superficial à condição de pó, que não sendo removido, atua como um isolador que protege a camada interior de gesso (BAUER, 2001).

2.5 Gesso como isolante térmico

Ao se projetar uma edificação, o profissional necessita verificar inúmeros aspectos relativos ao desempenho da mesma, entre eles funcionalidade, conforto térmico, resistência estrutural, revestimentos e materiais de vedação empregados. Em relação ao tipo de material escolhido, o projetista deve levar em consideração qual o desempenho que este possui no caso de um incêndio. É importante que o projetista, ao definir o tipo de material que será utilizado na edificação, conheça a resistência frente a altas temperaturas, como forma de avaliar o nível de segurança à construção.

Após especificado o tipo de material usado, é preciso obter conhecimento sobre qual o tempo necessário para o aquecimento do lado oposto, e caso ocorra um grande aquecimento num dos lados da parede é necessário responder várias questões. Não haverá o aparecimento de fissuras devido ao aquecimento? O material não irá sofrer ruína? O tempo de resistência ao fogo da parede é superior ao requerido em normas? A maioria dos materiais estruturais e não estruturais não apresentam boa resistência ao fogo, assim utilizam-se materiais com condições de isolantes térmicos para proteger a estrutura.

Chama-se isolante térmico um material ou estrutura que dificulta a dissipação de calor, usado na construção e caracterizado por sua alta resistência térmica. Estabelece uma barreira à passagem do calor entre dois meios que naturalmente tenderiam rapidamente a igualarem suas temperaturas. São utilizados como isolamento térmico materiais porosos ou fibrosos, capazes de imobilizar o ar seco e confiná-lo no interior de células mais ou menos estanques. E o gesso atende a essas características principalmente por apresentar baixa condutibilidade térmica, apresentando conforto térmico, e por ser incombustível, não sendo passível do espalhamento do fogo em caso de incêndio.

A norma brasileira que rege a determinação da resistência ao fogo de paredes divisórias sem função estrutural é a NBR10636. É a norma que mais se assemelha aos ensaios de paredes de gesso, pois não existe uma norma específica para esse tipo de material em situações de incêndio. Esta norma define a máxima temperatura que a parede não exposta ao forno pode atingir para ser considerada satisfatória como isolante térmica.

Deve-se observar sempre que não existe isolamento térmico perfeito, ou, em outras palavras, todo material ou estrutura constituída por alguma composição de materiais sempre conduz algum calor. (CORPO DE BOMBEIROS DE GOIAS - NT 02/14)

2.6 Itens que contribuem para a análise da resistência ao fogo

Alguns trabalhos de pesquisa se concentram principalmente sobre os métodos experimentais, enquanto outros são dedicados à modelagem numérica do comportamento de placa de gesso em situação de incêndio. A maioria destes estudos estão preocupados apenas com a transferência de calor entre as placas e fazem modelos numéricos incorporando a análise de elementos finitos para previsões dessa. No entanto, para além da precisão numérica, existem outros elementos importantes que precisam ser abordadas quando se estuda as placas de gesso. As principais questões relacionadas com a previsão da resistência ao fogo destas placas podem ser resumidas como a seguir (RAHMANIAN I., 2011):

- As propriedades térmicas do gesso para serem usadas na simulação
- O efeito do teor de água nas propriedades térmicas
- O efeito das rachaduras e fissuras do gesso
- As relações tempo x temperatura da curva padrão

Dentro de um edifício, usa em geral a condição de incêndio celulósico pois os incêndios de hidrocarbonetos são mais prováveis de ocorrer em indústria petroquímica. As duas curvas de incêndio são traçadas abaixo:

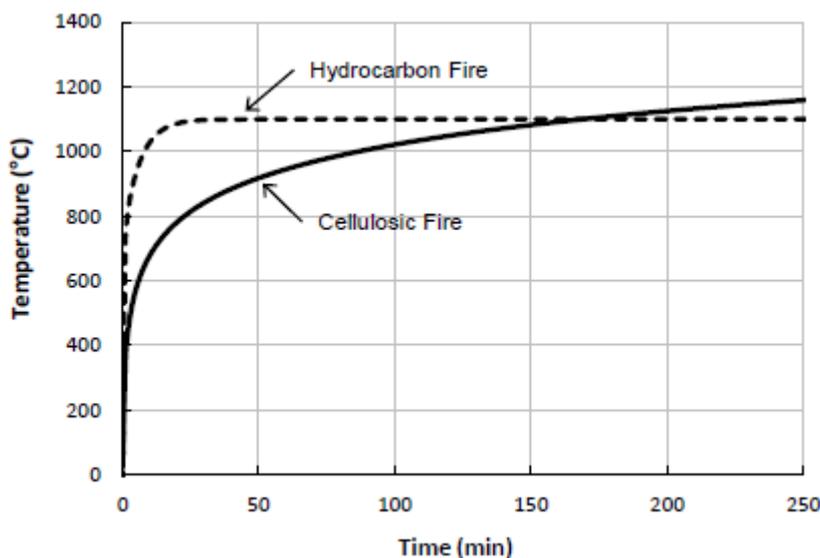


Gráfico 2 - Curvas de tempo x temperatura para incêndio padrão

Fonte: BS476 (BSI,1937)

Deve notar-se que as curvas padrão de incêndio são tentativas para classificar elementos de construção, mas eles não representam cenários de incêndio no mundo real. COSTA & SILVA (2003). Em 1908, a American Society for Testing and Materials divulgou critérios específicos padronizados de aceitação para ensaios, mantidos até os dias de hoje (GOSSELIN (1987)). Em 1917, a curva ASTM-C19 foi divulgada em forma de tabela, junto com uma especificação para uma curva-padrão de aquecimento. Posteriormente, a ASTM-C19 foi alterada para ASTM-E119 (GREEN (2001)). Na tentativa de se aproximar da realidade em 1975, a International Organization for Standardization publicou a norma ISO 834 “Fire-Resistance Tests – Elements of Building Construction”, fornecendo a equação abaixo para estimar a temperatura em função do tempo do incêndio-padrão.

$$\theta_g - \theta_{g0} = 345 \cdot \log(8t + 1)$$

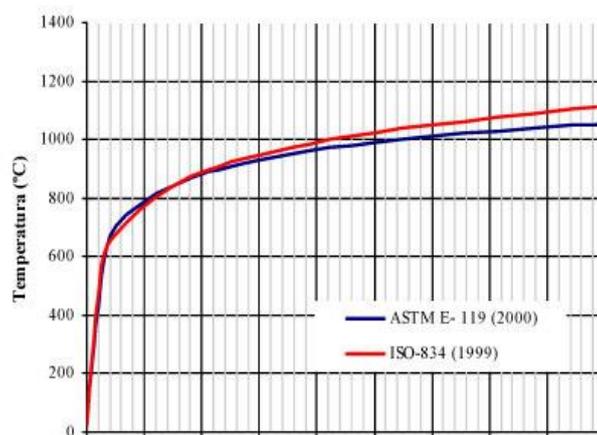


Gráfico 3 - Curvas padrão ASTM-E119 e ISO 834

Fonte:

Internet

A NBR 10636 adota a mesma curva padrão da ISO 834 e foi a utilizada em nosso trabalho.

2.7 Propriedades térmicas das placas de gesso de acordo com vários pesquisadores

2.7.1 Termocondutividade

A condutividade térmica depende da densidade da placa de gesso. Andersson e Jansson [3] relataram altos valores de condutividade térmica com base em experimentos realizados em placas fabricadas na Europa. Mehaffey et al. [11] extrapolou uma curva de condutividade térmica baseada em experiências conduzidas no Canadá em placas de gesso de tipo X e C. Cooper [12] resumiu os valores padrão para a condutividade térmica de placas de gesso usado no software SAFIR, que se originou do trabalho de Sultan [2] em placas Tipo X e Tipo C. Thomas [13] usou os valores derivados de Mehaffey et al. [11] para os painéis de gesso cartonado de tipo X, e os extrapolou para 1000°C. (KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012)

Conforme a figura abaixo existe um acordo consistente entre os pesquisadores sobre condutividade térmica das placas de gesso até 400°C. Enquanto que há um grande desvio significativo entre eles a partir de 400°C. Mehaffey et al, Sultan, Cooper e Thomas acharam condutividades térmicas significativamente maiores do que os outros por permitir a transferência de calor através de fissuras.

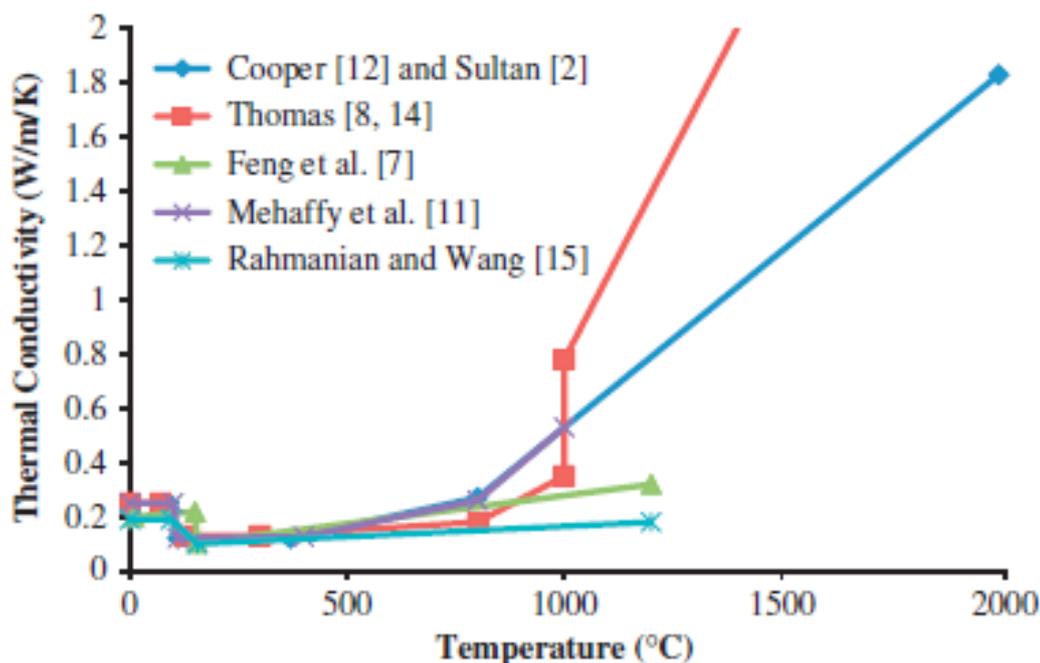


Gráfico 4 – Condução térmica das placas em vários estudos

Fonte: KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012

2.7.2 Calor específico

O gráfico 5 apresenta os valores de calor específico a partir de vários pesquisadores. O calor específico do gesso a temperatura ambiente varia de 950 a 1500 J/kg°C. Existe uma grande variação entre valores reportados para placas de gesso semelhante. Na figura mostra um bom acordo entre os pesquisadores de que a primeira reação de desidratação ocorre aproximadamente aos 125°C, isto é, o primeiro pico. No entanto há inconsistência entre estes estudos em relação à temperatura onde ocorre a segunda reação de desidratação. (KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012)

Andersson e Jansson [3] utilizaram os valores de calor específico obtido a partir das medidas de placas de gesso nórdico. Eles relataram picos de 52.200 e 19.200 J/(kg°C) ocorrendo em 110 e 210 °C, respectivamente. Mehaffey et al. [11] apenas mediu o calor específico até 200 °C e não registrou um segundo pico. Seus estudos relatam um pico de 49.950 J/(kg°C) a 110 °C, com um valor ambiente de 980 J/(kg°C) extrapolado para temperaturas crescentes. Hadjisophocleous [16] não relatou quaisquer picos no calor específico do gesso. Os valores de calor específico de Feng et al. [7] e Thomas [8,14] são aqueles usados em suas análises numéricas

sobre o desempenho térmico de placas de gesso cartonado na proteção de painel de aço e paredes de madeira leve, respectivamente. (KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012)

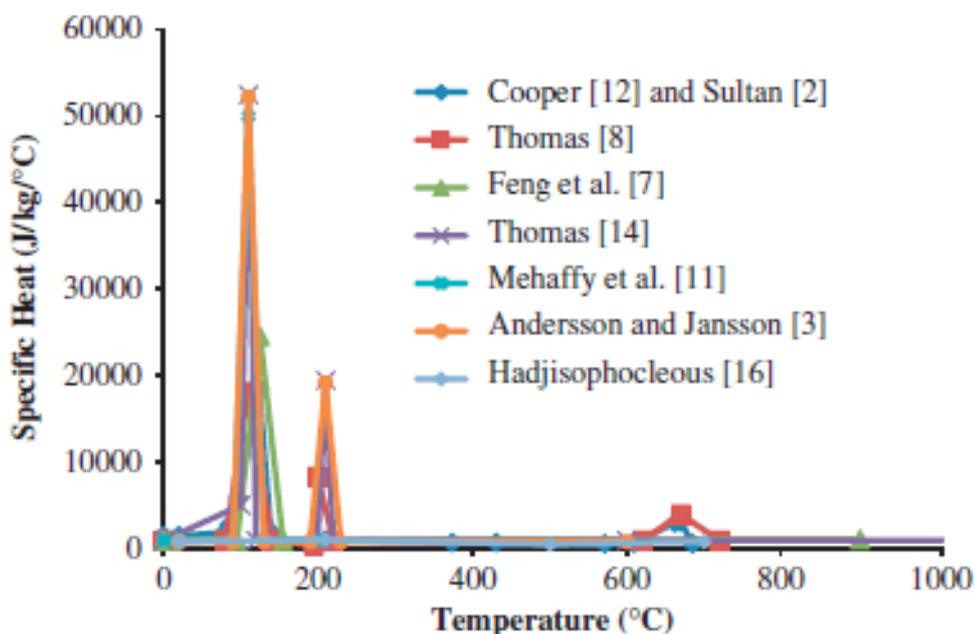


Gráfico 5 – Calor específico das placas em vários estudos

Fonte: KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012

2.7.3 Densidade relativa

Placa de gesso vazado tem uma densidade entre 550 e 850 kg / m³ [17]. A sua densidade varia devido aos diferentes teores de umidade e ao ar arrastado dentro do núcleo de gesso. Estes fatores desempenham um papel importante no desempenho do das placas de gesso perante o fogo. A fig. X mostra a densidade relativa de placa de gesso de vários estudos.

Mehaffey et al. [11] e Sultan [2] relatam valores semelhantes para a mudança na densidade com a temperatura para os painéis de gesso dos Tipos X e C. Nota-se também a maior diminuição da densidade a aproximadamente 125 °C, onde ocorre a primeira reação de desidratação. Propriedades térmicas padrão das placas de gesso do tipo X e C utilizadas no software SAFIR são da pesquisa de Cooper [12], que foi baseada no trabalho de Sultan [2]. Thomas [8,14] resumiu os valores de densidade relativa da placa de gesso e seus valores foram

encontrados maiores do que os valores de Sultan [2] e Cooper [12]. (KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012)

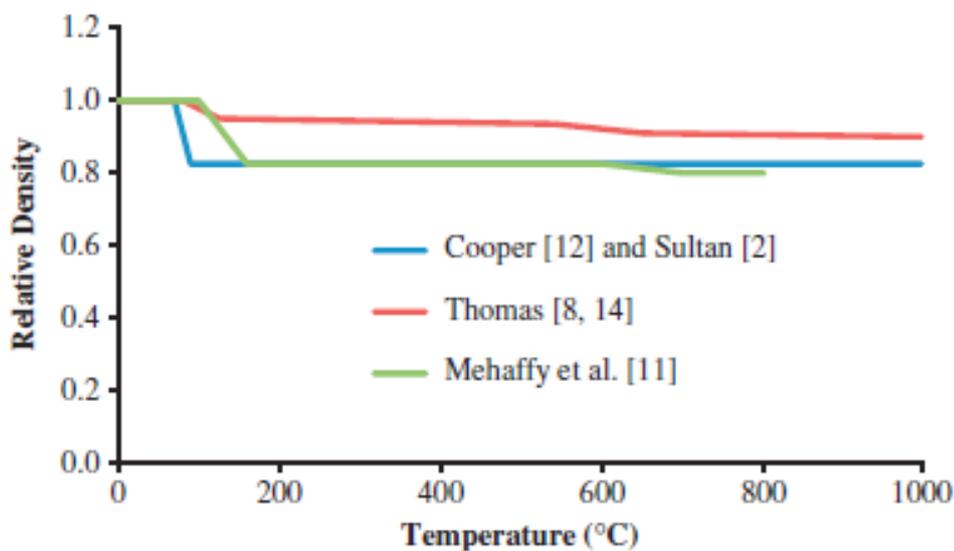


Gráfico 6 – Densidade relativa das placas em vários estudos

Fonte: KEERTHAN P, MAHENDRAN M., 2012

Embora muitos pesquisadores tenham medido as propriedades térmicas básicas das placas de gesso, como calor específico e condutividade térmica, eles propuseram propriedades térmicas aparentes ou efetivas que podem ser usadas em modelos numéricos para incluir implicitamente os efeitos de transmissão de calor. As propriedades térmicas propostas por estes pesquisadores não são as mesmas porque foram desenvolvidas para as placas de gesso utilizadas em seus países e utilizadas em diversas aplicações e situações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Classificação da Pesquisa

Pesquisa aplicada, por intermédio de realização de ensaios, sob condições controladas, se tratando de um estudo aprofundado sob um embasamento teórico. Quanto ao objeto da pesquisa, trata-se de amostragem de gesso ensaiadas com o intuito de obter suas propriedades mecânicas e analisar seu comportamento submetido a altas temperaturas.

3.2 Planejamento da Pesquisa

A pesquisa pode ser dividida em duas etapas: ensaios de laboratório e análise de dados. Na primeira etapa serão ensaiados blocos e placas de gesso. Na segunda etapa será feita a análise dos dados obtidos e comparação entre os resultados obtidos nas diversas amostras.

3.2.1 Procedimento de coleta e interpretação dos dados

No proposto estudo em laboratório, avaliou-se o gesso da Industria Lajeiro Gesso, em relação à consistência, granulometria, tempo de pega, resistência à compressão, resistência à tração, dureza e avaliação térmica em corpos de prova de três densidades diferentes.

3.3 Determinação das Densidades

De acordo com a EN 12859.2008 a densidade seca bruta do gesso endurecido da parte sólida do bloco, a qual é a principal densidade bruta do número especificado de amostras deve ser como segue:

— Densidade alta

$$1\ 100 \leq \rho \leq 1\ 500 \text{ kg/m}^3$$

— Densidade média

$$800 \leq \rho < 1\ 100 \text{ kg/m}^3$$

— Densidade baixa

$$600 \leq \rho < 800 \text{ kg/m}^3$$

Este trabalho tem como referência a densidade média com valores desejados de 800 kg/m³, 950 kg/m³ e 1100 kg/m³.

Para atender as especificações desejadas, realizou-se ensaios de consistências em corpos de prova prismáticos 4 cm x 4 cm x 16 cm e foram feitos 3 corpos de prova de cada consistência analisada e por fim, foi estudado os dados referentes à massa em relação ao tempo.

Ao atingir a massa constante dos blocos, traça-se os gráficos de massa x consistência para todas as densidades desejadas.

3.4 Determinação das propriedades físicas do pó

- Granulometria;
- Massa unitária;
- Módulo de finura: representa globalmente a finura do material.

Seguiu-se a metodologia determinada pela norma NBR 12127 MB 3468/1991 para prática destes ensaios.

3.4.1 Granulometria

Equipamentos:

- Peneiras de 0,840 mm, 0,420mm, 0,210mm e 0,105mm conforme a EB-22
- Fundo de peneira e tampa
- Balança com resolução de 0,1g
- Estufa de secagem
- Dessecador

Método manual

1. Passar 1 kg de gesso na peneira 2,0mm, depois tomar 210g da amostra devidamente homogeneizada. Secar em estufa à temperatura de $40^{\circ} \pm 4^{\circ}$ até a massa constante. Esfriar em dessecador.

2. Tomar 100g da massa inicial através de quarteamento e passar pela peneira de 0,840mm. Segurar a peneira inclinada de maneira que ela bata na outra mão 125 vezes por minuto. Durante o peneiramento recomenda-se dar golpes suaves no rebordo exterior do caixilho com o cabo do pincel. O peneiramento é considerado terminado quando entre duas pesagens a massa que passar for menor ou igual a 0,4g.

3. Em seguida transferir para a peneira de 0,420 mm o material que passou na peneira de 0,840 mm, procedendo da mesma forma anterior, até que, entre duas pesagens a massa de gesso seja menor ou igual a 0,2g.

4. Homogeneizar o material que passou pela peneira 0,420mm tomando-se desta uma massa de 50g e repetir o procedimento com esta nova massa para a peneira de 0,210 até que o material passante seja menor ou igual a 0,1g.

5. Repetir o procedimento para a peneira de 0,105mm com o material que passou na peneira de 0,210mm, até que a diferença entre duas pesagens consecutivas seja menor ou igual a 0,1g.

6. Executar duas determinações consecutivas.

Registra-se a média aritmética percentual retida dos valores em duas determinações.

Calcula-se o material retido em casa peneira pelas seguintes equações:

Para peneiras 0,840mm e de 0,420mm:

$$R = \frac{m}{M} \times 100$$

Onde:

R - material retido em porcentagem

m - resíduo na peneira, em gramas

M - massa inicial, em gramas

Para peneiras de 0,210mm, de 0,105mm e fundo de peneira:

$$R = \frac{m}{M_1} \times D \times 100$$

Onde:

R- material retido em porcentagem

m - resíduo na peneira, em gramas

M₁- massa total de material retido no jogo de peneiras (0,210mm, 0,105mm e fundo), em gramas

D- diferença obtida entre a massa inicial (M) e os resíduos das peneiras (0,840mm e 0,420mm) dividido por 100, segundo a equação abaixo:

$$D = \frac{M - (m_a + m_b)}{100}$$

Onde:

m_a - resíduo da peneira de 0,840mm

m_b - resíduo da peneira de 0,420mm



Figura 1 – Peneiramento

Manual

Fonte: Fotos dos autores



Figura 2 – Pesagem em balança analítica

Fonte: Fotos dos autores

3.4.2 Massa unitária

Equipamentos:

Aparelho constituído de um funil cônico de material não corrosivo com peneira de 2,0mm ajustada com o funil.

Recipiente de medida confeccionado de material não corrosivo e com capacidade de $1000 \pm 20 \text{cm}^3$

Balança

Procedimento

1. Tarar o recipiente de medida e colocá-lo sob o funil centralizando de forma que os eixos verticais coincidam.

2. Colocar cerca de 100g de gesso no funil, sobre a peneira, e com a ajuda de uma espátula fazer passar o material.

3. Repetir o procedimento anterior até que o gesso transborde o recipiente de medida

4. Rasar a superfície do recipiente de medida com o cuidado para não compactar o gesso nele contido, e pesar.

Calcular a massa unitária pela fórmula:

$$M_u = \frac{M}{V} \times 100$$

Onde

M_u - massa unitária, em quilogramas por metro cúbico

M - massa do gesso, em gramas

V- volume do recipiente, em centímetro cúbico

Considerar o valor médio de duas determinações desde que a diferença seja menor que 5%.



Figura 3 - Ensaio da massa unitária

Fonte: Fotos dos autores

3.4.3 Módulo de finura

$$MF = \frac{\sum Ra}{100}$$

Onde:

MF - módulo de finura

$\sum Ra$ - somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série-padrão.

3.5 Determinação das propriedades físicas da pasta

Definições

- Consistência normal: Relação água/gesso, na qual se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação.
- Tempo de início de pega
- Tempo de fim de pega

Seguiu-se a metodologia determinada pela norma NBR 12128 MB 3469/1991 para prática destes ensaios.

3.5.1 Consistência normal

Equipamentos:

- Aparelho de Vicat modificado;
- Molde;
- Base;
- Cronômetro.

Método manual

1. Tomar uma quantidade de amostra, de no mínimo 3000g e passa-la através da peneira de 2,0 mm com auxílio de pincel.
2. Dissolver 20g de citrato de sódio P.A. em 1000mL de água destilada.
3. Aplicar uma fina película de óleo lubrificante na superfície da placa de vidro e no molde.
4. Transferir 10mL da solução de citrato de sódio a 20g/L para um recipiente e adicionar água destilada até 150g.
5. Pesar uma determinada massa da amostra, essa massa deve ser polvilhada, no período de 1 min, sobre a água com retardador.
6. Deixar em repouso durante 2 min, e em seguida misturar por 1 min, a fim de obter uma pasta uniforme.
7. Transferir imediatamente a pasta para o molde, evitando bolhas de ar. Rasar o topo do molde.
8. Umedecer a sonda cônica e baixar até a superfície da pasta, no centro do molde.
9. Ler a escala e deixar descer lentamente a haste. Quando cessar a penetração, ler novamente a escala.
10. A consistência é considerada normal quando for obtida uma penetração e (30 ± 2) mm.

O resultado deve ser expresso pela razão massa de água por massa de gesso.



Figura 4 - Ensaio de consistência normal

Fonte: Fotos dos autores

3.5.2 Determinação do tempo de pega

Equipamentos

- Aparelho de Vicat;
- Molde;
- Base;
- Cronômetro.

Método manual

1. Tomar quantidade de água e amostra de acordo com a relação água/gesso desejada.

2. A massa da amostra deve ser polvilhada, no período de 1 min, sobre a água. O cronômetro deve ser acionado no instante em que a amostra entrar em contato com a água.
3. Deixar em repouso durante 2 min, e em seguida misturar por 1 min, a fim de obter uma pasta uniforme.
4. Transferir imediatamente a pasta para o molde, evitando bolhas de ar. Rasar o topo do molde.
5. Ajustar o marcador e deixar a agulha penetrar na pasta, lentamente. Após cada penetração, limpar a agulha e movimentar a base ligeiramente, de maneira que as tentativas sejam efetuadas a uma distância mínima de 5mm uma da outra e a 10mm do contorno da face exterior.
6. O início de pega é caracterizado pelo instante em que a agulha estaciona a 1mm da base.
7. O final de pega é caracterizado pelo instante em que a agulha não mais penetrar na pasta, deixando apenas uma leve impressão.

Expressar os resultados em minutos e segundos do início e fim de pega, e apresentar a média de duas determinações que não devem diferir em mais de 10%.



Figura 5 - Aparelho de Vicat

Fonte: Fotos dos autores

3.6 Determinação das propriedades mecânicas

- Resistência à tração na flexão
- Dureza
- Resistência à compressão

Seguiu-se a metodologia estabelecida determinada pela norma NBR 12129 MB 3470/1991 para prática destes ensaios.

3.6.1 Resistência à tração na flexão

Aparelhagem

- Prensa de ensaio que permita a aplicação de uma carga fixa de (500 ± 5) N através de placas de área mínima de 2500mm^2 e curso mínimo de 100mm.

Método

1. Posicionar o prisma no centro da placa de ensaio.
2. Aplicar a carga continuamente numa razão de (50 ± 10) N/s até a ruptura.

O valor da resistência à tração R_t , em Mpa, é dado pela fórmula:

$$R_t = \frac{1,5FtL}{40^3}$$

R_t é a resistência à tração na flexão, em megapascal;

F_t é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma;

L é a distância entre os suportes, em milímetros.

3. A resistência média dos três corpos-de-prova é considerada como valor da resistência à tração se cada resultado individual não diferir mais de 15% da média calculada.
4. Se um resultado diferir mais de 15% da média, este resultado não é considerado no cálculo da média.
5. Se mais de um resultado diferir de mais de 15% da média, repetir o ensaio em outra série de corpos-de-prova.



Figura 6 – Ensaio de tração na flexão

Fonte: Fotos dos autores

3.6.2 Dureza

Aparelhagem

- Prensa de ensaio que permita a aplicação de uma carga fixa de (500 ± 5) N através de placas de área mínima de 2500mm^2 e curso mínimo de 100mm.
- Paquímetro ou outro dispositivo que possa medir a profundidade de impressão com leituras em décimos de milímetro.
- Esfera de aço duro de diâmetro $(10,0\pm 0,5)$ mm.

Método

1. Aplicar uma película de óleo lubrificante às partes do molde, ajustando-se firmemente, a fim de evitar vazamentos durante a moldagem.
2. Calcular a massa de gesso necessária à formação do volume do recipiente dos corpos-de-prova.
3. Calcular a massa de água necessária à mistura pelo fator água/gesso.
4. Polvilhar sobre a água, no período de 1 min, deixar em repouso durante 2min.

5. Proceder a mistura de forma contínua, procurando desfazer os grumos de gesso e bolhas de ar, por pelo menos 1 min.
6. Transferir rapidamente a pasta para o molde. Desmoldar após o completo endurecimento da pasta.
7. Selecionar a face inferior de moldagem e duas outras faces laterais opostas de cada corpo-de-prova para o ensaio de penetração.
8. Posicionar o corpo-de-prova no centro de aplicação da carga com uma das superfícies selecionadas para cima. Posicionar a esfera na parte central desta superfície, a uma distância mínima de 20mm das bordas, evitando-se eventuais bolhas ou falhas na superfície.
9. Aplicar a carga de 50N e aumentar, em 2s a carga para 500N, mantendo-a por 15s. Após este tempo, retirar a carga e medir a profundidade de impressão.

A dureza em Newtons por milímetro quadrado é dada pela fórmula:

$$D = \frac{F}{\pi \times \phi \times t}$$

Onde:

F = carga, em Newton

ϕ = diâmetro da esfera, em milímetros

t = média da profundidade, em milímetros

10. Reportar no relatório de ensaio em grupos de três, para cada corpo-de-prova ensaiado, perfazendo um total de nove medidas numa dada série.
11. Calcular a média aritmética das profundidades de cada corpo-de-prova. A profundidade média t dos três corpos-de-prova é considerada a da série, se cada uma destas não deferir mais de 15% da média global.
12. Se uma das médias dos corpos-de-prova deferir mais de 15% da média global, esta não deve ser incluída no cálculo da profundidade t.
13. Se mais de uma das médias dos corpos-de-prova deferir mais de 15% da média global, repetir o ensaio em outra série.



Figura 7 – Ensaio de dureza

Fonte: Fotos dos autores

3.6.3 Resistência à compressão

Aparelhagem

- Prensa de ensaio com capacidade de carga superior a 20000N, exatidão mínima de 200 N, placas de aplicação de carga mínima de 2500 mm² e curso mínimo de 100mm.
- Corpos de prova cilíndricos de gesso (raio=5 cm e h=10 cm);
- Corpos de prova retangulares (4 x 4 x 8 cm).

Método

6. Continuar a partir do passo 5 do ensaio de dureza.

7. Posicionar uma das faces não selecionadas no ensaio de penetração, que não a superior, no centro da placa de ensaio.
8. Aplicar a carga continuamente numa razão de 250N/s a 750N/s até a ruptura.

O valor da resistência à compressão R, em Mpa, é dado pela fórmula:

$$R = P / S$$

Onde:

P – carga que produziu a ruptura do corpo-de-prova, em newtons

S – área de seção transversal de aplicação da carga, em milímetros quadrados

9. A resistência média dos três corpos-de-prova é considerada como valor da resistência à compressão se cada resultado individual não diferir mais de 15% da média calculada.
10. Se um resultado diferir mais de 15% da média, este resultado não é considerado no cálculo da média.
11. Se mais de um resultado diferir de mais de 15% da média, repetir o ensaio em outra série de corpos-de-prova.



Figura 8 - Ensaio de Resistência à compressão em corpos de prova retangulares



Figura 9 - Ensaio de Resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos

3.7 Determinação das propriedades térmicas

- Condutibilidade térmica: equivale a quantidade de calor transmitida através de uma espessura, numa direção normal à superfície da área, devido a uma variação de temperatura.
- Estanqueidade: não deve permitir a passagem de gases e chamas para os elementos ou ambientes.
- Isolamento

Seguiu-se a metodologia determinada pela norma NBR 10636/1980, por não ser encontrada uma norma específica para resistência ao fogo de parede de gesso nem de uma versão atualizada até os dias em que foram realizados os ensaios. Também tomou-se como referência a taxa de aquecimento e curva padrão da ISO 834 por ser aceita internacionalmente.

3.7.1 Ensaios em altas temperaturas

Aparelhos:

- Forno KK-260 Linn High Term
- Forno vertical
- Termopares tipo k
- Material isolante
- Barras metálicas de apoio
- Chumaço de algodão
- Software Catman AP

Método

Placas de 1 cm:

1. Coloca-se um termopar no centro da primeira placa e 2 termopares entre cada uma das placas de gesso seguintes (1,00x0,70x0,01), um no centro da placa e outro no canto superior direito (Figura 12).

2. Usando gesso cola une-se as cinco placas tornando-a uma só com 5 cm.
3. Coloca-se 1 termopar dentro do forno e dois termopares entre as placas e na face externa, sendo esse da face externa fixado por meio de um pequeno buraco feito na placa, adotando um no centro e outro na diagonal superior.
4. Coloca-se um material isolante entre as placas e o forno, para impedir o vazamento de calor.
5. Faz-se a ligação das placas ao forno por meio das barras metálicas.

A escolha dos pontos de colocação dos termopares deu-se de forma a avaliar uma área que por ação do calor pode-se chegar a ficar exposto ao forno com a quebra da placa e outro que possivelmente não ficaria exposto ao forno devido a pressão que a barra metálica estaria fazendo na região. Dessa forma, os pontos escolhidos foram o central e o canto superior direito.

Placas de 5 cm (2x):

1. Coloca-se 3 termopares dentro do forno e 3 termopares na face externa (Figura 14 e 16).
2. Coloca-se um material isolante entre as placas e o forno, para impedir o vazamento de calor.
3. Faz-se a ligação das placas ao forno por meio das barras metálicas.

A escolha dos pontos de colocação dos termopares deu-se de forma a comparar os dados obtidos em blocos maciços e as placas de 1 cm. O terceiro ponto de colocação foi a junta, visando avaliar a condutibilidade térmica nesse ponto de fragilidade da união dos blocos.

Após essas etapas eleva-se a temperatura, tomando como referência a temperatura inicial dada pelo controlador, como mostra a seguir:

$\Delta 100^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$

$\Delta 400^{\circ}\text{C} - 40 \text{ min}$

Somando um tempo total de 50 min e atingindo uma temperatura em torno dos $550^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$ dependendo da temperatura inicial.

Placas de 10 cm:

1. Coloca-se 3 termopares dentro do forno e 4 termopares na face externa.
2. Coloca-se um material isolante entre as placas e o forno, para impedir o vazamento de calor.

Foram distribuídos 3 termopares de forma a preencherem maior parte da parede e foi colocado 1 termopar na junta, por ser um ponto de fragilidade da união dos blocos.

Usando a taxa de aquecimento da NBR10636, como mostra o gráfico abaixo, foi ensaiada a parede de 10 cm.

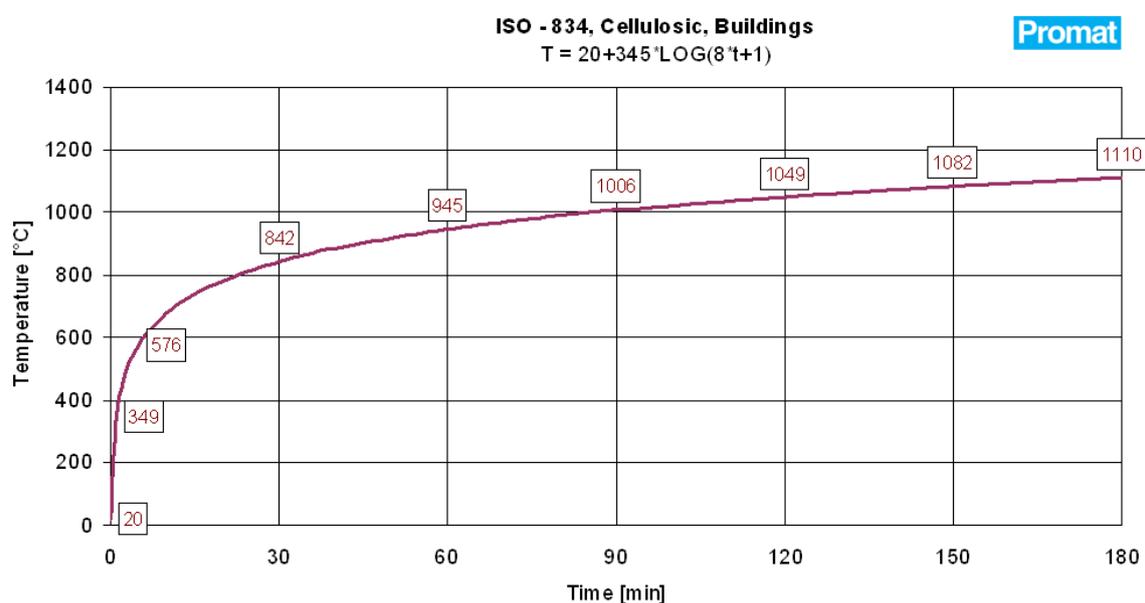


Gráfico 7 – Curva padrão ISO 834

Fonte: ISO 834

Traçar gráficos temperatura x tempo de cada um dos termopares através dos dados fornecidos pelo software Catman Ap.

As figuras a seguir referem-se aos equipamentos utilizados nos ensaios submetidos a altas temperaturas:



Figura 10 – Equipamentos utilizados na obtenção dos dados

Fonte: Fotos dos autores

As figuras a seguir referem-se ao ensaio com placas de 1cm:



Figura 11 – União das placas

Fonte: Fotos dos autores



Figura 12 – Posicionamento dos termopares nas placas

Fonte: Fotos dos autores

As figuras a seguir referem-se à parede formada pelos blocos de 5 cm:

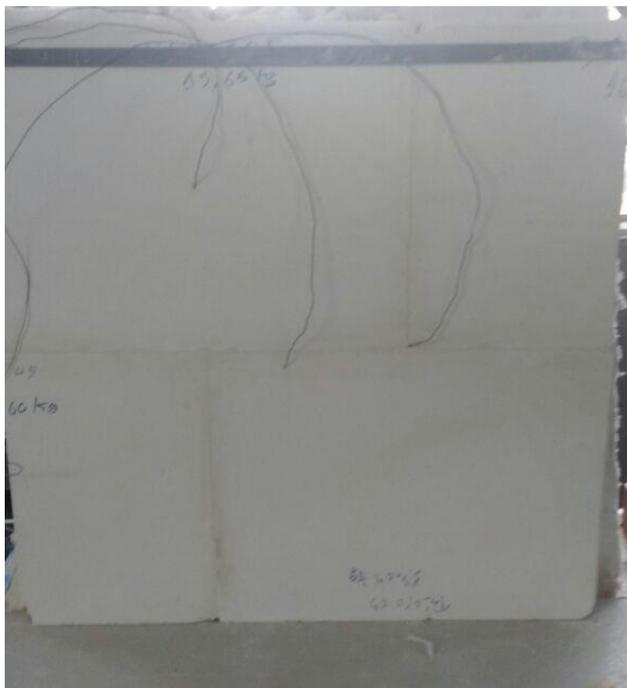


Figura 13- Posicionamento dos termopares na face externa da parede 1

Fonte: Fotos dos autores



Figura 14 – Posicionamento dos termopares no interior do forno

Fonte: Fotos dos autores



Figura 15 - Posicionamento dos termopares na face externa da parede 2

Fonte: Fotos dos autores

As figuras a seguir referem-se à parede formada pelos blocos de 10 cm:



Figura 16 – Forno Vertical

Fonte: Fotos dos autores



Figura 17 – Face exposta ao forno

Fonte: Fotos dos autores

3.7.2 Estanqueidade e Isolamento

Procedimento:

1. A permeabilidade às chamas e gases quentes das frestas e fissuras é verificada por meio de um chumaço de algodão colocado a uma distância máxima de 30mm destas, mas não em contato com a amostra.
2. O chumaço deve ser aplicado a curtos intervalos de tempo e mantido em posição durante pelo menos 10s para determinar se os gases provocam sua inflamação.
3. O chumaço deve medir (100x100) mm na superfície exposta e ter espessura de cerca de 20mm, pesando 3 e 4g e ser fixado por meio de grampos de arame de aço a um bastidor de 100mm de lado.

Notas: Antes do uso, o chumaço deve ser seco em estufa a 100°C durante, pelo menos meia hora;

Deve ser anotado a presença de fissuras ou outras aberturas que provoquem a inflamação do chumaço de algodão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Feitos os ensaios ditos anteriormente, pode-se então avaliar o gesso estudado, classifica-lo e verificar como ele se comportará.

4.1 Resultado do ensaio de densidade

A tabela 1 refere-se aos resultados obtidos da média dos pesos e das densidades dos 3 corpos de prova. Conforme o item 3.3:

Data	Fator a/g: 0,7		Fator a/g: 0,8		Fator a/g: 1,1	
	Peso (g)	Densidade (kg/m ³)	Peso (g)	Densidade (kg/m ³)	Peso (g)	Densidade (kg/m ³)
21/09	377,68	1475,33	358,58	1400,69	334,48	1306,56
22/09	366,57	1431,93	347,15	1356,04	333,31	1301,99
23/09	362,89	1417,54	335,08	1308,92	332,99	1300,76
26/09	335,20	1309,38	302,30	1180,86	301,22	1176,64
27/09	327,11	1277,77	301,10	1176,17	274,41	1071,9
30/09	310,65	1213,49	293,53	1146,60	258,82	1011,02
04/10	268,79	1049,95	248,70	971,50	224,22	875,85
05/10	270,57	1056,90	247,22	965,69	206,37	792,12
10/10	270,22	1055,53	246,90	964,45	202,48	790,94

Tabela 1 – Resultados do ensaio de densidade

Fonte: Autores

A partir desses valores traça-se os gráficos de massa x tempo para cada densidade, aproximando os pontos em funções quadráticas e lineares, como podem ser vistos a seguir:

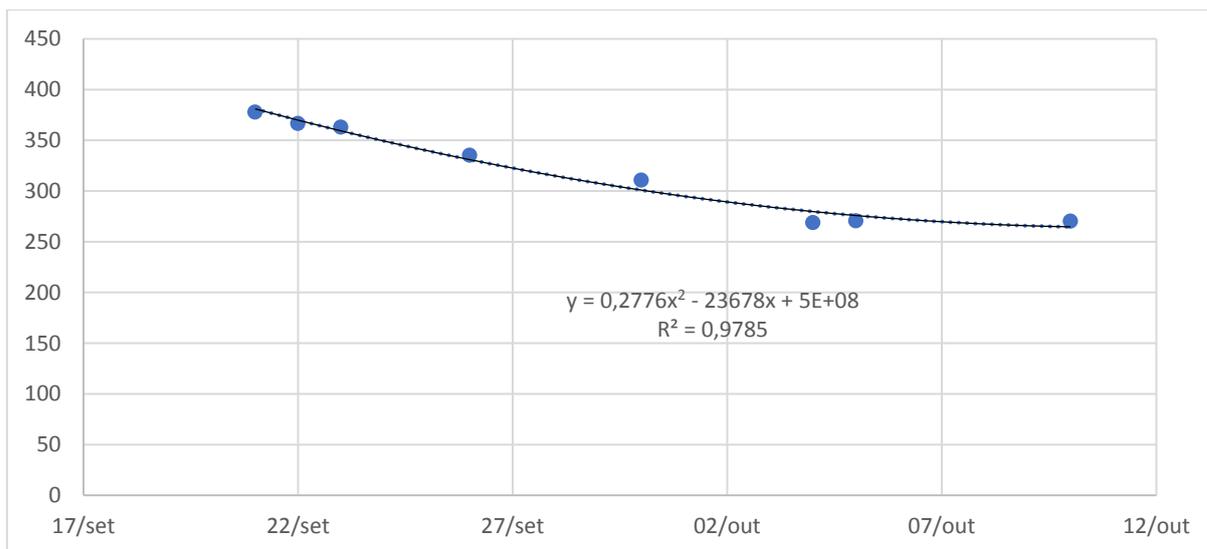


Gráfico 8 – Massa x tempo função quadrática – consistência 0,7

Fonte: Autores

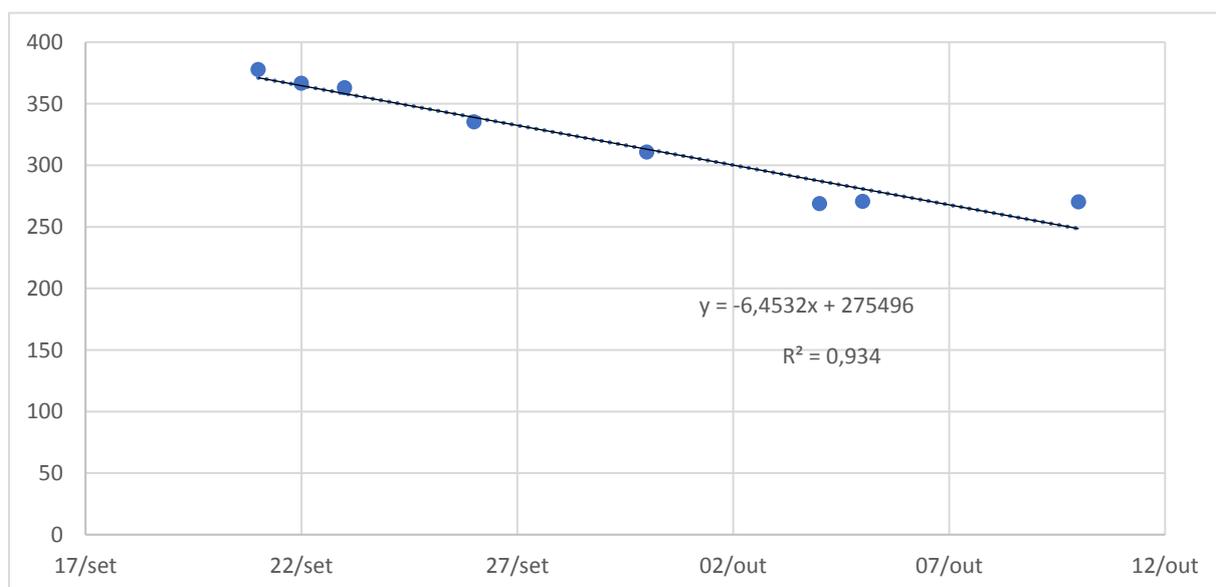


Gráfico 9 – Massa x tempo função linear – consistência 0,7

Fonte: Autores

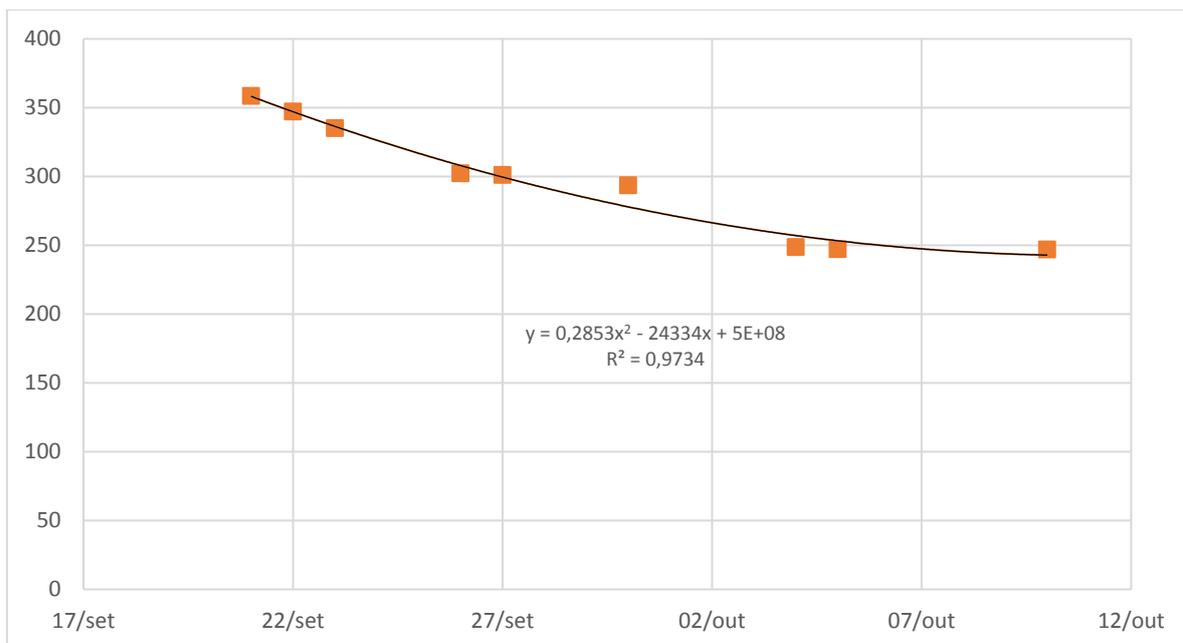


Gráfico 10 – Massa x tempo função quadrática – consistência 0,8

Fonte: Autores

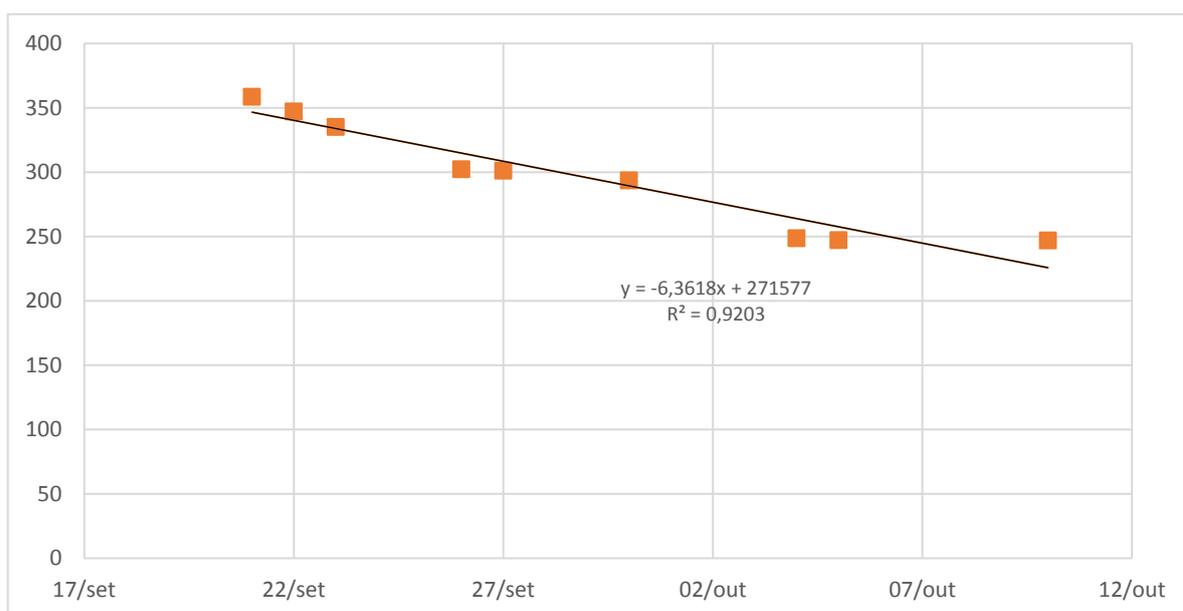


Gráfico 11 – Massa x tempo função linear – consistência 0,8

Fonte: Autores

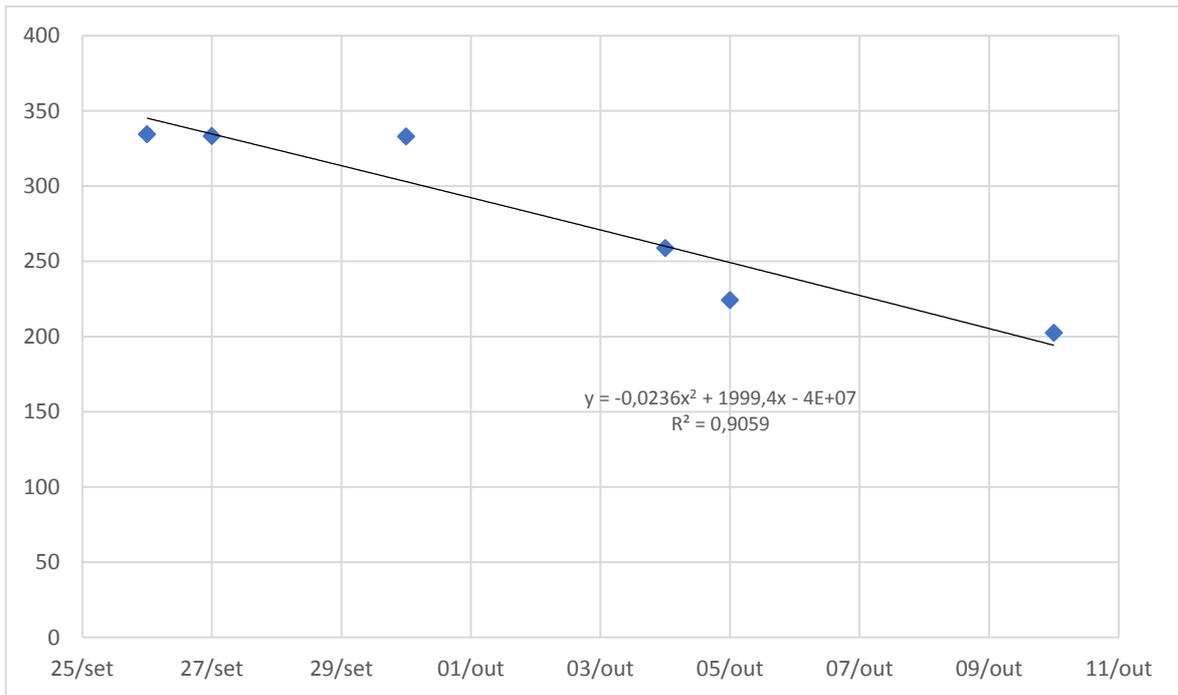


Gráfico 12 – Massa x tempo função quadrática – consistência 1,1

Fonte: Autores

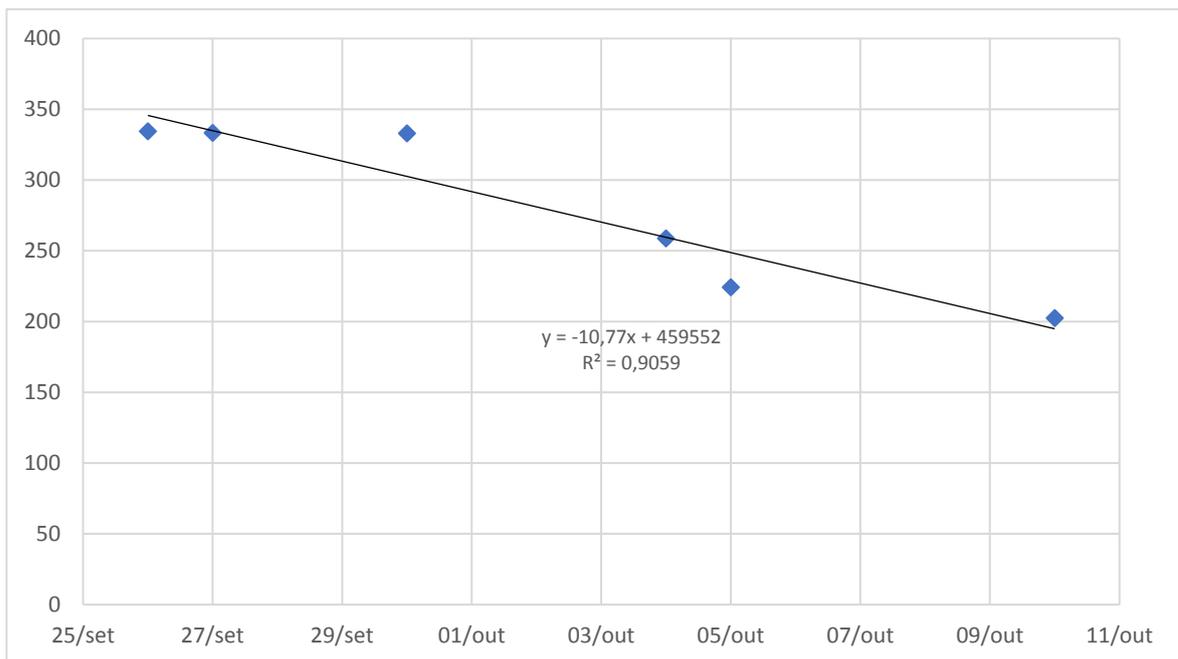


Gráfico 13 – Massa x tempo função linear – consistência 1,1

Fonte: Autores

Observou-se um tempo necessário para que os corpos de prova atingissem a massa constante de duas semanas, ou seja, não mais haverá trocas significativas entre o corpo de prova e o ambiente. Dessa forma atingiu-se as densidades desejadas do item 3.3 com erros percentuais menores que 5%, tornando o ensaio representativo, como mostra a tabela a seguir:

Densidade desejada (kg/m ³)	Densidade atingida (kg/m ³)	Erro percentual (%)
800	790,94	1,13
950	964,45	1,52
1100	1055,53	4,04

Tabela 2 – Erro percentual das densidades

Fonte: Autores

4.2 Resultado do ensaio de granulometria:

A tabela a seguir une os dados obtidos no ensaio de granulometria com o resultado do módulo de finura, que é obtido por esse ensaio, conforme o item 3.4.1:

Peneira	1 ^a	% Retida acumulada	2 ^a	% Retida acumulada	3 ^a	% Retida acumulada	4 ^a	% Retida acumulada	5 ^a	% Retida acumulada	6 ^a	% Retida acumulada
	Amostra		Amostra		Amostra		Amostra		Amostra		Amostra	
	% Retida		% Retida		% Retida		% Retida		% Retida		% Retida	
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
70	4,16	4,17	4,34	4,35	3,86	3,87	4,22	4,22	4,20	4,20	4,14	4,15
140	20,42	24,59	20,00	24,35	20,88	24,75	20,12	24,34	20,88	25,08	20,74	24,89
Total	28,77		28,71		28,63		28,56		29,28		29,05	
MF	0,29		0,29		0,29		0,29		0,29		0,29	
Faixa de Módulo de Finura = 0,29												

Tabela 3 - Módulo de finura

Fonte: Autores

O resultado desse ensaio comparado com as especificações da NBR 13207, que indica as características do gesso para construção civil, classifica o material com módulo de finura menor que 1,1 como um gesso fino.

4.3 Resultado do ensaio de massa unitária:

A tabela 5, refere-se aos resultados obtidos de 2 amostras, conforme o item 3.4.2:

Peso (g)	Volume (cm ³)	Massa unitária (kg/m ³)
697,65	981	711,16
686,89	981	700,19

Tabela 4 - Ensaio de massa unitária

Fonte: Autores

Segundo a NBR 13207, no item de exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil, admite que o material tenha massa unitária maior que 700 kg/m³ para ser considerado como gesso de construção civil, assim o material utilizado nesse ensaio atende as exigências dessa norma.

4.4 Resultado do ensaio de consistência normal

A tabela 6, refere-se aos resultados da penetração obtidos de 2 amostras de cada densidade, bem como sua média dessas penetrações, conforme o item 3.5.1:

Fator água / gesso	Penetração (mm)	Penetração média (mm)
0,8	38	38
0,8	38	
0,7	35	35,5
0,7	36	
0,6	30	29,5
0,6	29	

Tabela 5 - Ensaio de consistência normal

Fonte: Autores

Com esses dados podemos traçar um gráfico para estimar as penetrações dentro daquele intervalo e avaliar fatores relacionados:

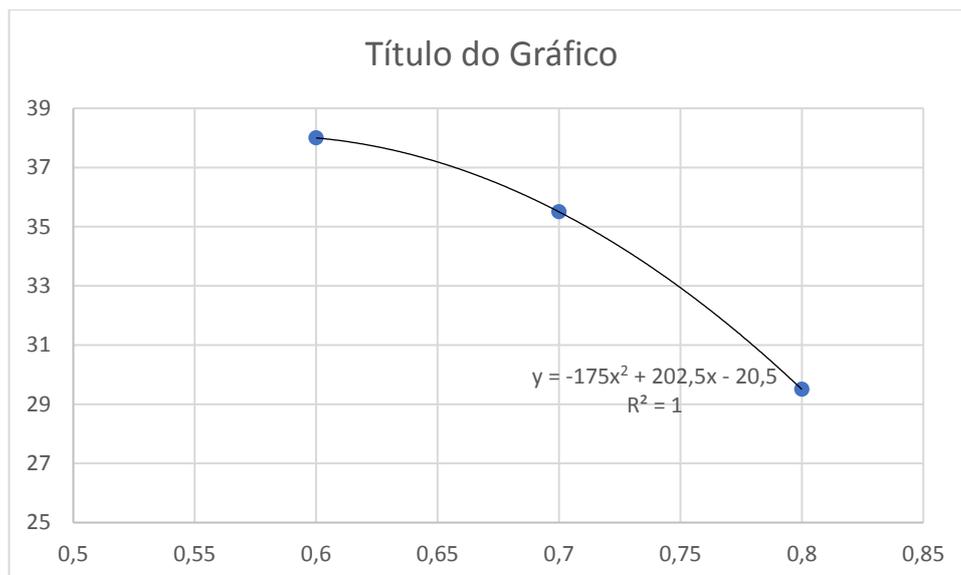


Gráfico 14 – Consistência x penetração

Fonte: Fotos dos autores

Como descrito na NBR12128 a consistência que obtiver o resultado da penetração de (30 ± 2) mm é considerada a consistência normal, assim pode-se concluir que a consistência normal do material estudado é de 0,6.

4.5 Resultado do ensaio do tempo de pega:

A tabela a seguir refere-se aos resultados obtidos no ensaio de início e fim de pega e relaciona as consistências com seus tempos de pega, além de avaliar o percentual diferencial dado entre as amostras, conforme o item 3.5.2:

Fator água / gesso	Início de pega	
0,6	Amostra 1	00:23:20
	Amostra 2	00:23:45
0,7	Amostra 1	00:28:39
	Amostra 2	00:29:06
0,8	Amostra 1	00:32:15
	Amostra 2	00:31:59
1,1	Amostra 1	00:39:13
	Amostra 2	00:38:51
Fator água / gesso	Diferença percentual (%)	
0,6	1,75	
0,7	1,55	
0,8	0,83	
1,1	0,95	
Fator água / gesso	Fim de pega	
0,6	Amostra 1	00:46:45
	Amostra 2	00:47:43
0,7	Amostra 1	00:54:33
	Amostra 2	00:55:22
0,8	Amostra 1	01:01:01
	Amostra 2	01:02:18
1,1	Amostra 1	01:41:09
	Amostra 2	01:40:17
Fator água / gesso	Diferença percentual (%)	
0,6	2,03	
0,7	1,48	
0,8	2,06	
1,1	0,86	

Tabela 6 – Ensaios de início e fim de pega

Fonte: Fotos dos autores

Como pode-se observar que os valores obtidos atendem as exigências especificadas na NBR 12128, ou seja, eles não diferem mais do que 10% entre seus valores.

A tabela 8 refere-se aos tempos médios de pega, no qual podemos analisar o tempo de pega em relação a sua consistência, conforme o item 3.5.2:

Fator água / gesso	Tempo
0,6	Início de pega: 00:23:32
	Fim de pega: 00:47:14
0,7	Início de pega: 00:28:52
	Fim de pega: 00:54:58
0,8	Início de pega: 00:32:07
	Fim de pega: 01:01:40
1,1	Início de pega: 00:39:02
	Fim de pega: 01:40:43

Tabela 7 – Média dos tempos de pega

Fonte: Fotos dos autores

Com os valores da tabela anterior pode-se traçar um gráfico para avaliar e estimar os tempos de pega dentro daquele intervalo e avaliar fatores relacionados:

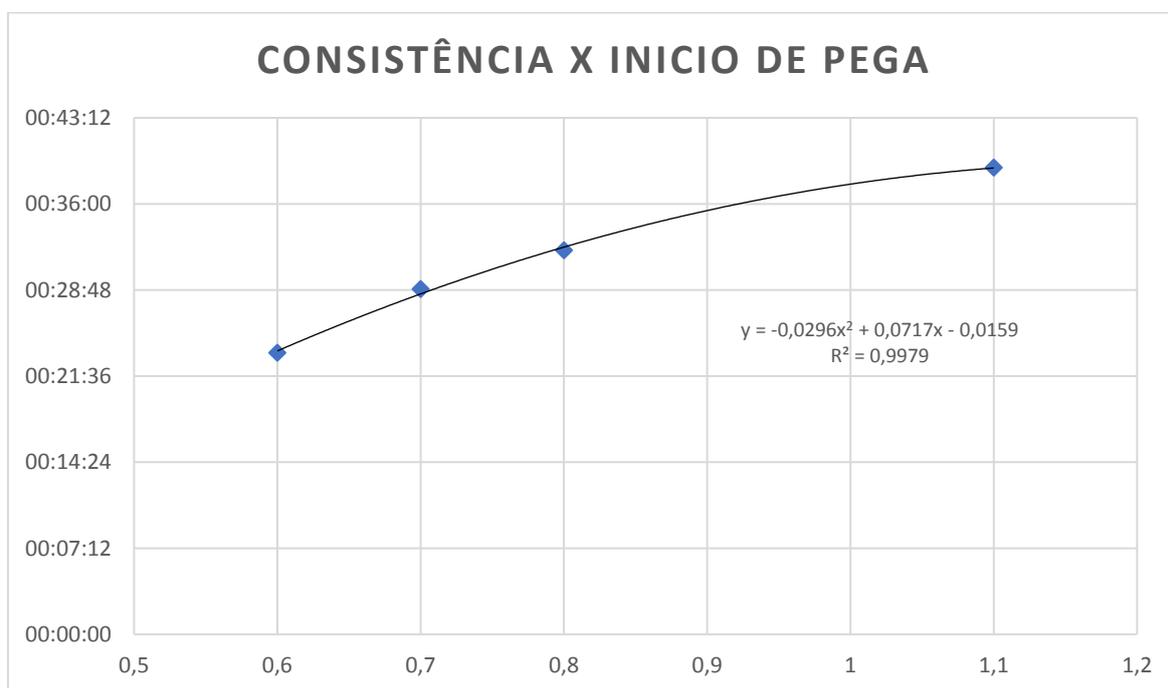


Gráfico 15 – Consistência x Início de pega

Fonte: Fotos dos autores

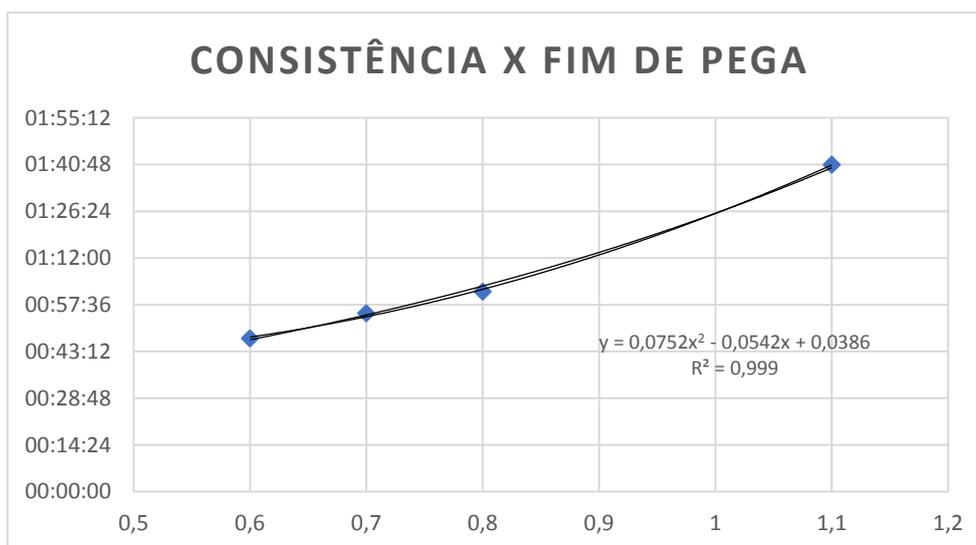


Gráfico 16 – Consistência x fim de pega

Fonte: Fotos dos autores

Dessa forma analisando os resultados obtidos no ensaio de pega juntamente com os resultados do ensaio de granulometria (módulo de finura), pela NBR 13207 o material utilizado nos ensaios é classificado como um gesso fino de revestimento.

Observa-se que um acréscimo da quantidade de água reflete em um pequeno retardamento do início da pega, mas um grande aumento no fim da pega, ou seja, uma argamassa de gesso com grande teor de água pode se tornar inviável em algumas utilizações dentro da construção civil.

4.6 Ensaio de Resistência à tração na flexão

A tabela 9, refere-se aos resultados obtidos nos 3 corpos de prova e a média desses valores para cada consistência, conforme o item 3.6.1:

Fator água / gesso	Resistência à tração (Mpa)		Média dos CP's
0,7	CP1	4,47	4,82
	CP2	4,97	
	CP3	5,03	
0,8	CP1	3,56	3,43
	CP2	3,24	
	CP3	3,29	
1,1	CP1	2,82	2,66
	CP2	2,85	
	CP3	2,51	

Tabela 8 – Ensaio de Resistência à tração na flexão

Fonte: Fotos dos autores

Com os valores da tabela anterior pode-se traçar um gráfico para avaliar e estimar a dureza dos blocos de gesso dentro daquele intervalo e avaliar fatores relacionados:

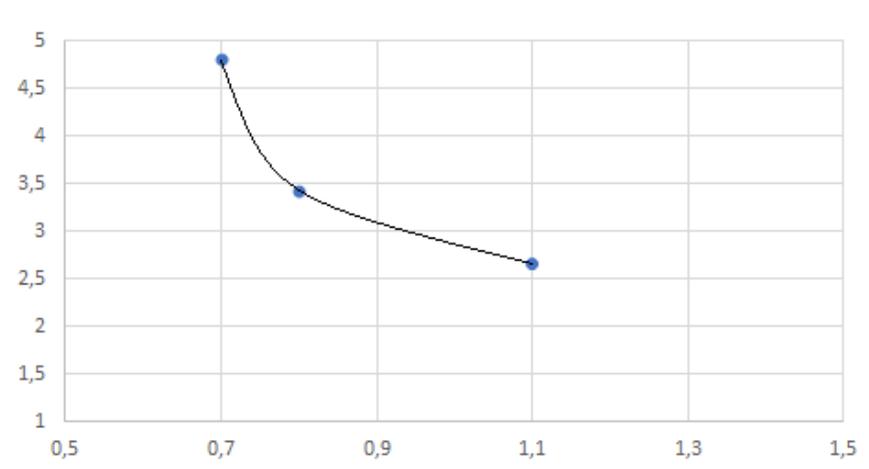


Gráfico 17 – Consistência x resistência à tração na flexão

Fonte: Fotos dos autores

Como pode-se observar os valores obtidos atendem as exigências da NBR 13279, ou seja, admite desvio absoluto máximo de 0,3 Mpa. Logo não precisamos desconsiderar nenhum valor discrepante.

Fazendo uma análise desses valores percebe-se que o gesso puro não possui uma grande resistência à tração em comparação à sua resistência à compressão e essa situação se agrava no momento que a consistência tende a crescer, inviabilizando algumas vezes o uso do gesso.

4.7 Ensaio de Dureza

A tabela 10, refere-se os resultados obtidos para cada corpo de prova bem como a média desses resultados, a média global e a diferença percentual desses valores, conforme o item 3.6.2:

Fator água / gesso	Medida da profundidade (mm)				Média dos CP's	Média global	Diferença percentual (%)
0,7	CP1	0,43	0,40	0,44	0,61	0,62	1,61
	CP2	0,43	0,42	0,39	0,62		0,80
	CP3	0,45	0,43	0,42	0,62		0,80
0,8	CP1	0,54	0,53	0,50	0,52	0,53	0,43
	CP2	0,53	0,52	0,54	0,53		2,18
	CP3	0,55	0,53	0,52	0,53		1,75
1,1	CP1	0,62	0,60	0,61	0,42	0,42	0,30
	CP2	0,60	0,63	0,64	0,41		1,20
	CP3	0,62	0,64	0,60	0,43		1,51

Tabela 9 – Ensaio de dureza

Fonte: Fotos dos autores

Com os valores da tabela anterior pode-se traçar um gráfico para avaliar e estimar a dureza dos blocos de gesso dentro daquele intervalo e avaliar fatores relacionados:

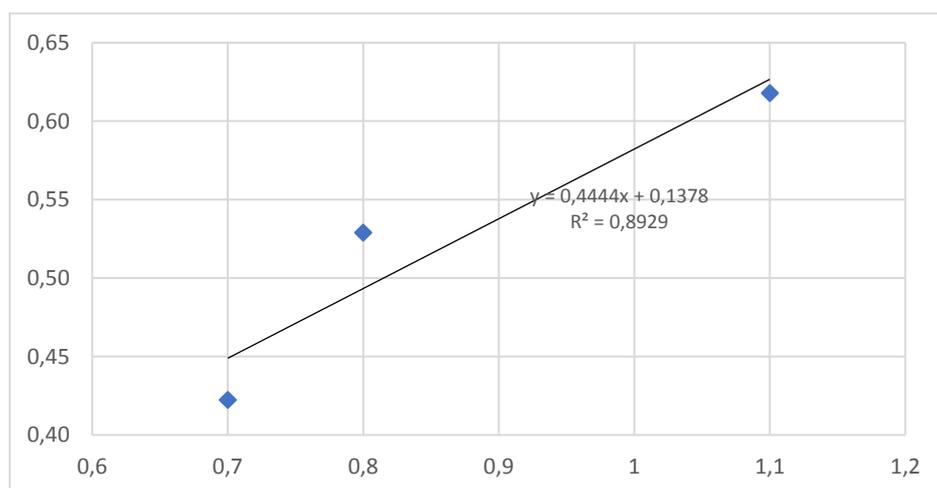


Gráfico 18 – Consistência x dureza

Fonte: Fotos dos autores

Consistência	Penetração (mm)	Dureza (N/mm²)
0,7	0,42	37,69
0,8	0,53	30,09
1,1	0,62	25,76

Tabela 10 – Dureza em N/mm²

Fonte: Fotos dos autores

Como podemos observar os resultados atendem as exigências especificadas na NBR 12129, ou seja, eles não diferem mais do que 15% entre a média global e a média dos CP's.

Avaliando as especificações da NBR 13207, no item de exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil, admite que esse gesso tenha dureza maior que

30 N/mm², logo o gesso usado nesse ensaio atende a este item da norma apenas para a consistência 0,7

Como podemos observar há uma dispersão maior nos valores da dureza e essa dispersão também pode ser verificada em CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C.

4.8 Ensaio de Resistência à compressão

A tabela 12 refere-se aos resultados dos corpos de prova cilíndricos, bem como a média desses resultados, conforme o item 3.6.3:

Fator água / gesso	Resistência à compressão (Mpa)		Média dos CP's
0,7	CP1	7,3	7,87
	CP2	7,6	
	CP3	8,7	
0,8	CP1	4,9	4,40
	CP2	4,1	
	CP3	4,2	
1,1	CP1	3,0	3,13
	CP2	3,6	
	CP3	2,8	

Tabela 11 – Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos

Fonte: Fotos dos autores

Com os valores da tabela anterior pode-se traçar um gráfico para avaliar e estimar as resistências a compressão dentro daquele intervalo e avaliar fatores relacionados:

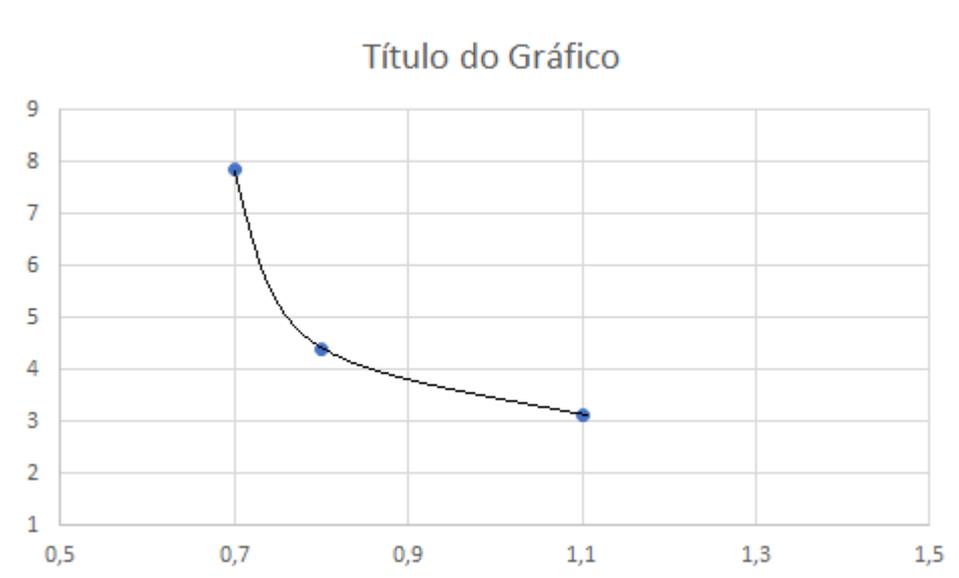


Gráfico 19 – Consistência x resistência à compressão corpos de prova cilíndricos

Fonte: Fotos dos autores

A tabela 13 refere-se aos resultados dos corpos de prova retangulares, bem como a média desses resultados, conforme o item 3.6.3:

Fator água / gesso	Resistência à compressão (Mpa)		Média dos CP's
0,7	CP1	10,2	10,73
	CP2	10,2	
	CP3	11,8	
0,8	CP1	8,2	8,27
	CP2	8,2	
	CP3	8,4	
1,1	CP1	3,8	4,03
	CP2	4,1	
	CP3	4,2	

Tabela 12 – Ensaio de compressão dos corpos de provas prismáticos

Fonte: Fotos dos autores

Com os valores da tabela anterior pode-se traçar um gráfico para avaliar e estimar as resistências a compressão dentro daquele intervalo e avaliar fatores relacionados:

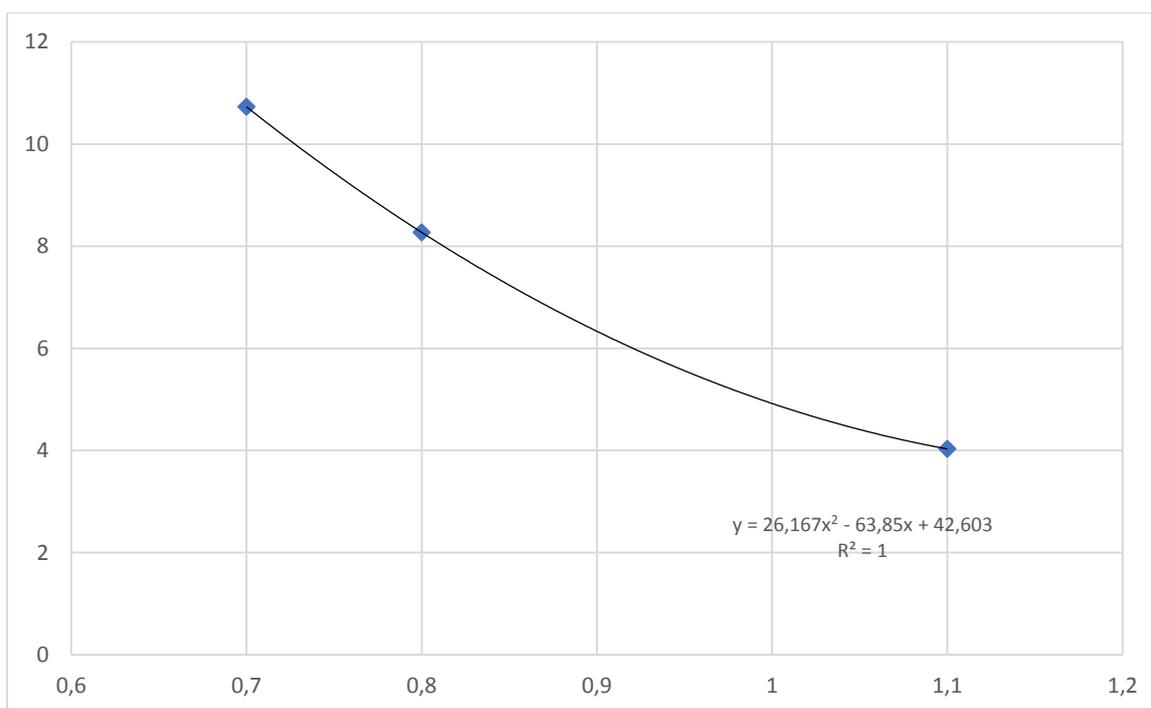


Gráfico 20 – consistência x resistência à compressão corpos de prova prismáticos

Fonte: Fotos dos autores

Como não especificação normativa para corpos de prova cilíndricos, utiliza-se neste trabalho as mesmas especificações da norma para corpos de prova retangulares. Pode-se observar que valores obtidos neste ensaio atendem as exigências da NBR 12129, ou seja, eles não diferem mais do que 15% entre a média dos CP's e o resultado individual de cada CP.

As especificações da NBR 13207, no item de exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil, admitem que o material tenha resistência à compressão maior que 8,4 Mpa, logo o material utilizado nesse ensaio atende às especificações mínimas apenas a consistência de 0,7 no corpo de prova cúbico.

Fazendo uma análise desses valores percebe-se que o gesso puro consegue resistir bem a compressão, mas essa resistência decai quando a consistência cresce, inviabilizando algumas vezes o uso do gesso.

O gráfico 22 é uma comparação dos ensaios obtidos até aqui, para melhor ilustrar o comportamento de algumas características com a variação de consistência.

Nº da amostra	Módulo de finura	Massa unitária (Kg/L)	Consistência utilizada (a/g)	Consistência normal (a/g)	Tempo de pega		Resistência à tração na flexão (Mpa)	Resistência à compressão (Mpa)	Dureza (Mpa)
					Início	Fim			
CP1	0,287	0,705	0,7	0,6	00:28:52	00:54:58	4,82	10,73	37,69
CP2	0,286	0,705	0,8	0,6	00:32:07	01:01:40	3,43	8,27	30,09
CP3	0,291	0,705	1,1	0,6	00:39:02	01:40:43	2,66	4,03	25,76

Tabela 13 – Tabela comparativa dos resultados

Fonte: Fotos dos autores

Tabela 1 – Propriedades de gesso nacional

Nº da Amostra	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (kg/L)	Consistência normal (ml de água para 100 g de gesso)	TEMPO DE PEGA (Min)		Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Dureza (MPa)
				início	fim			
1	2,64	0,626	45,0	7'	11'15"	9,24	27,29	53,08
2	2,60	0,540	51,7	8'15"	12'10"	6,70	20,30	35,38
3	2,60	0,863	48,3	5'50"	9'15"	9,80	19,62	39,81
4	2,65	0,636	49,3	6'15"	8'50"	8,14	21,89	35,39
5	2,59	0,561	49,0	12'	18'10"	7,54	19,50	31,85
6	2,60	0,574	48,3	8'30"	14'25"	9,17	22,62	13,55
7	2,56	0,615	43,3	11'05"	18'25"	10,50	23,98	18,20
8	2,63	0,587	49,3	7'30"	13'50"	8,54	17,42	31,85
9	2,62	0,498	48,3	6'35"	11'45"	9,11	22,16	31,85
10	2,62	0,760	56,7	11'15"	16'25"	6,55	15,13	33,52
11	2,58	0,468	65,3	16'40"	24'45"	4,40	9,93	35,39
12	2,58	0,473	65,3	3'45"	5'25"	6,30	14,02	45,50
13	2,59	0,593	50,0	6'20"	10'50"	8,61	19,66	31,84
14	2,62	0,767	48,3	9'45"	13'05"	9,58	19,59	28,95
15	2,62	0,795	47,0	6'40"	9'45"	7,41	14,35	21,96

Tabela 14 – Tabela de outros estudos

Fonte: CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. 1965.

4.9 Ensaios em altas temperaturas

4.9.1 Placas de 1cm:

Com a união das 5 placas e o gradativo aumento da temperatura, observou-se a quebra da parte central das 3 primeiras placas, o fissuramento da quarta placa e a última placa se mostrou íntegra até o tempo final de ensaio, ou seja, passou nos testes de estanqueidade e isolamento. As fotos, tabelas e gráficos a seguir mostram os dados obtidos neste ensaio:

O gráfico 23 refere-se às medidas das temperaturas no início do ensaio:

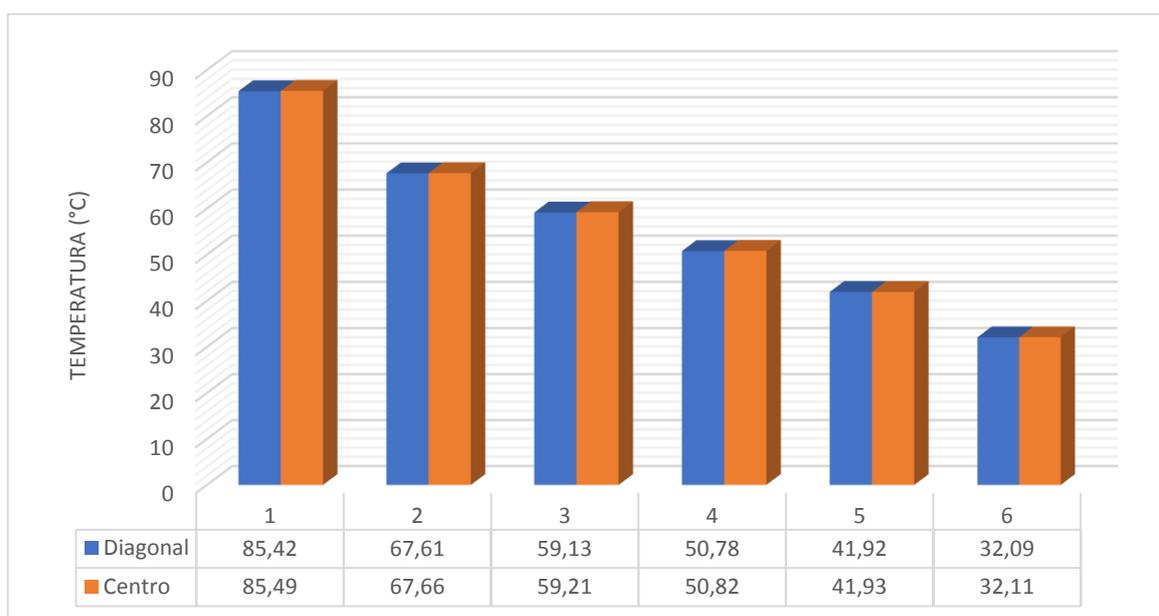


Gráfico 21 – Temperatura inicial

Fonte: Autores

Observa-se temperaturas iniciais próximas entre a diagonal e o centro das placas.

O gráfico 24 refere-se às temperaturas de todas as placas no momento do rompimento da placa 1 (placa exposta ao forno) após 1h e 2min do início do ensaio:

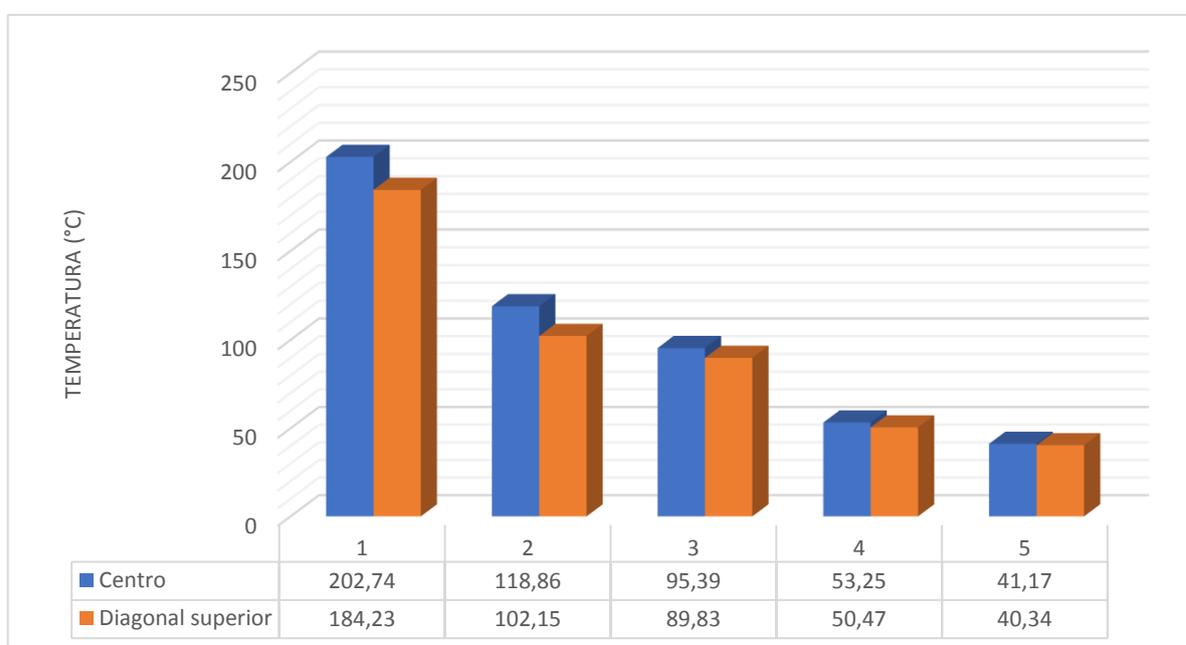


Gráfico 22 – Temperaturas x placa 1

Fonte: Autores

O gráfico 25 refere-se às temperaturas das placas seguintes no momento do rompimento da placa 2, após 1h e 46 min do início do ensaio:

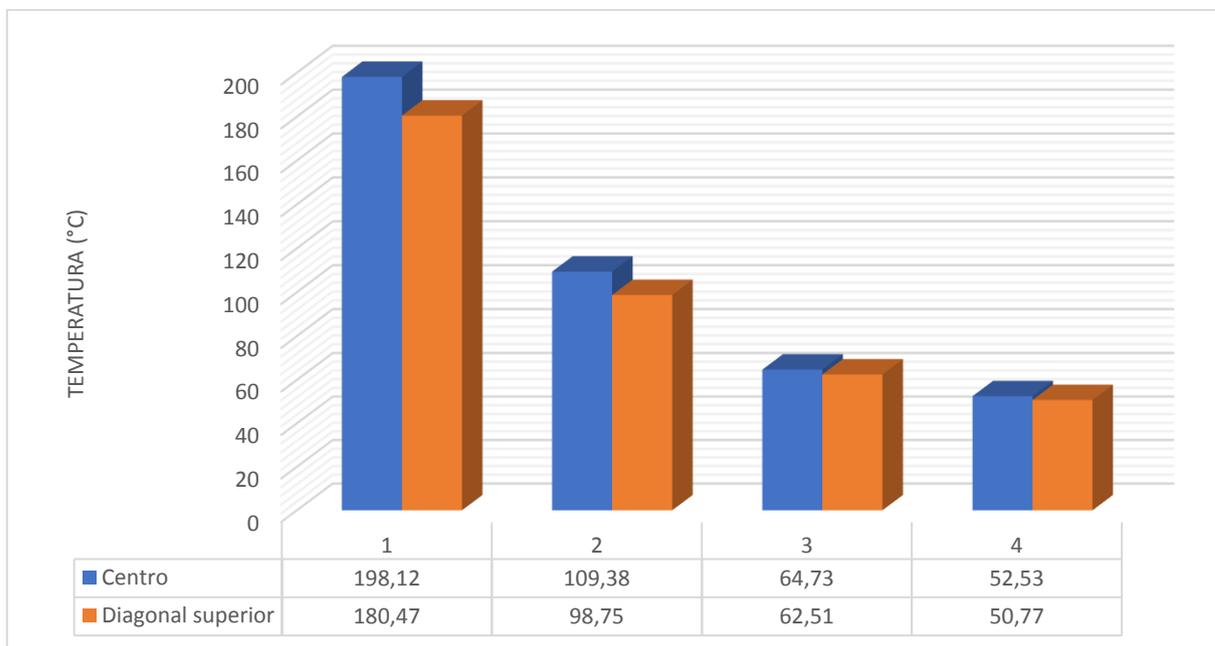


Gráfico 23 – Temperaturas x placa 2

Fonte: Autores

O gráfico 26 refere-se às temperaturas das placas seguintes no momento do rompimento da placa 3, após 2h e 20 min do início do ensaio:

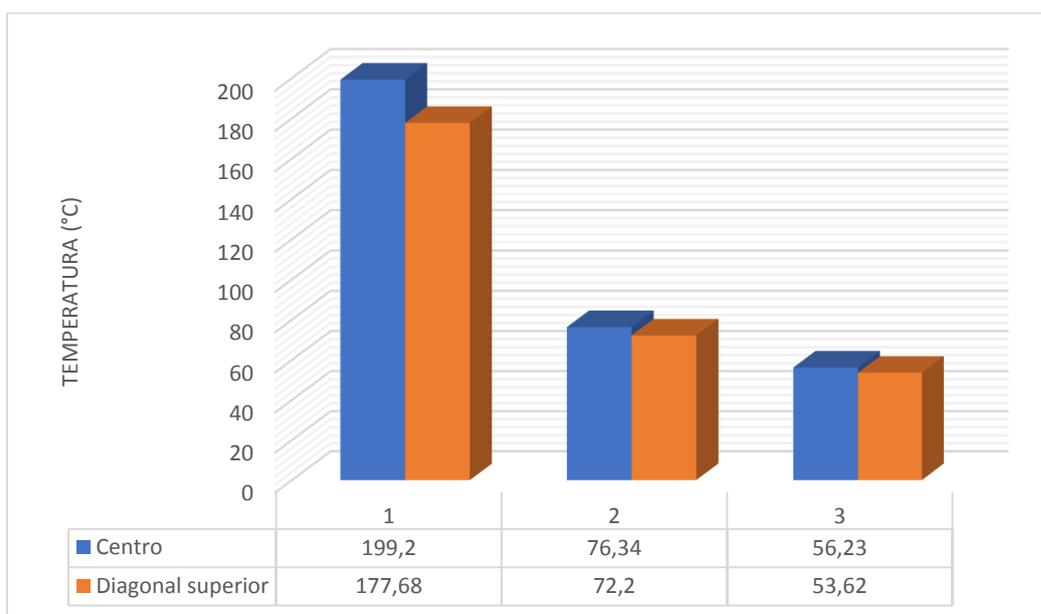


Gráfico 24 – Temperaturas x placa 3

Fonte: Autores

Observa-se que na quebra de uma das placas as placas seguintes adquirem um acréscimo de temperatura maior nas partes centrais onde houve uma abertura para passagem de calor, do que nas partes extremas das placas.

O gráfico 27, refere-se às medidas das temperaturas no fim do ensaio, onde as temperaturas na parte central e no canto superior direito:

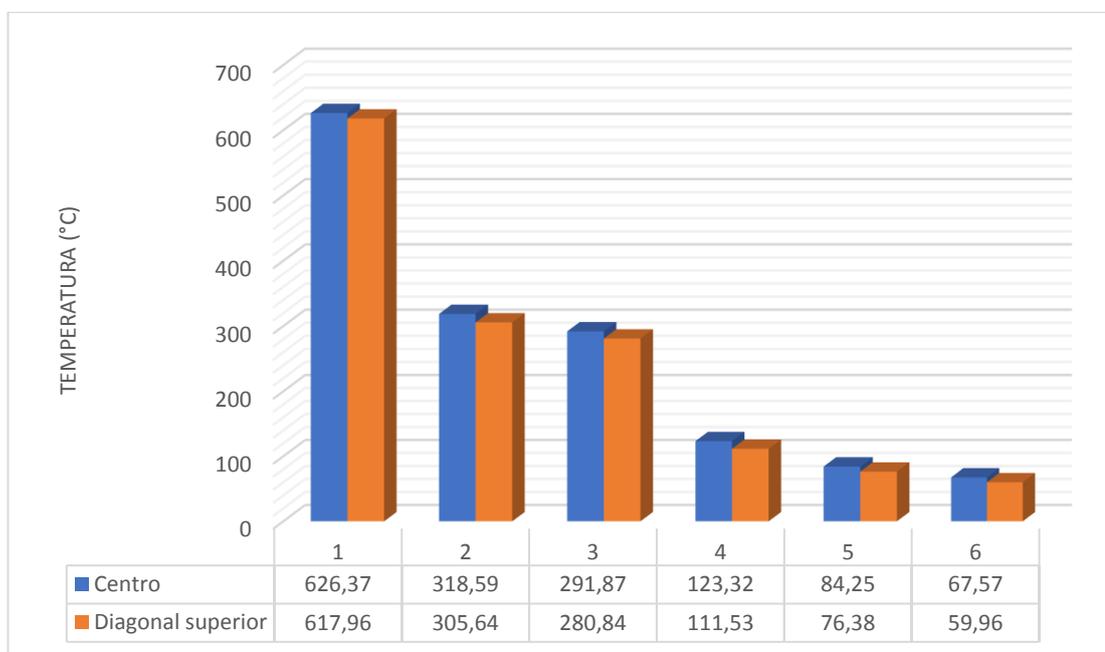


Gráfico 25 – Temperatura final

Fonte: Autores

Percebe-se que no fim do ensaio as partes centrais das placas estavam com temperaturas maiores que as partes extremas das placas.

Os gráficos 28 e 29, referem-se ao acréscimo de temperatura adicionados durante todo o ensaio nos pontos dos termopares:

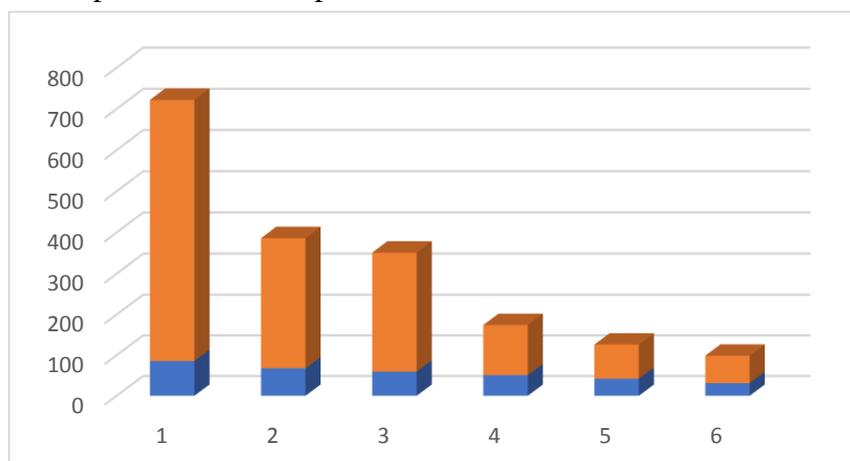


Gráfico 26 – Acréscimo de temperatura no centro das placas

Fonte: Autores

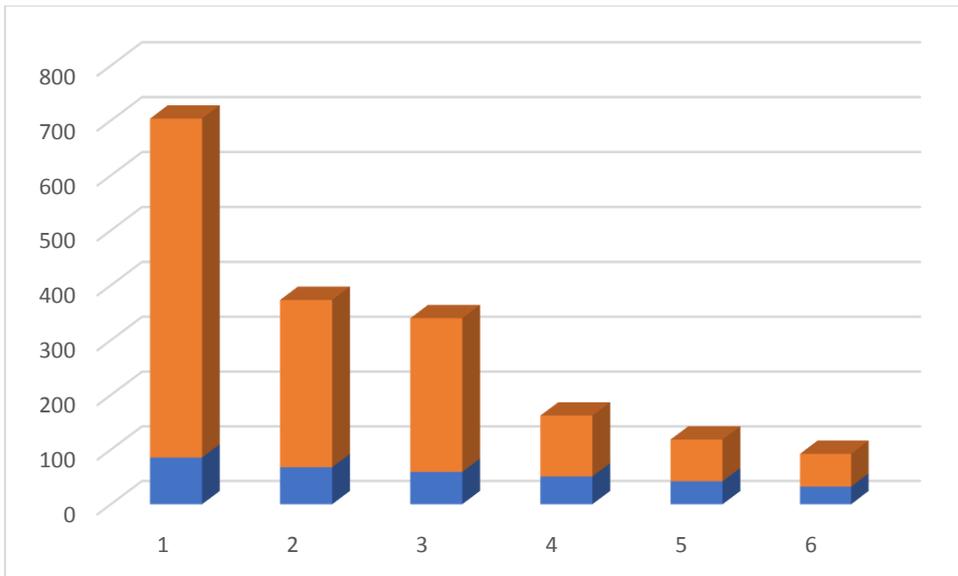


Gráfico 27 – Acréscimo de temperatura na diagonal superior das placas

Fonte: Autores

O gráfico 30 refere-se à variação de temperatura dentro do forno, aquecimento e resfriamento do mesmo.

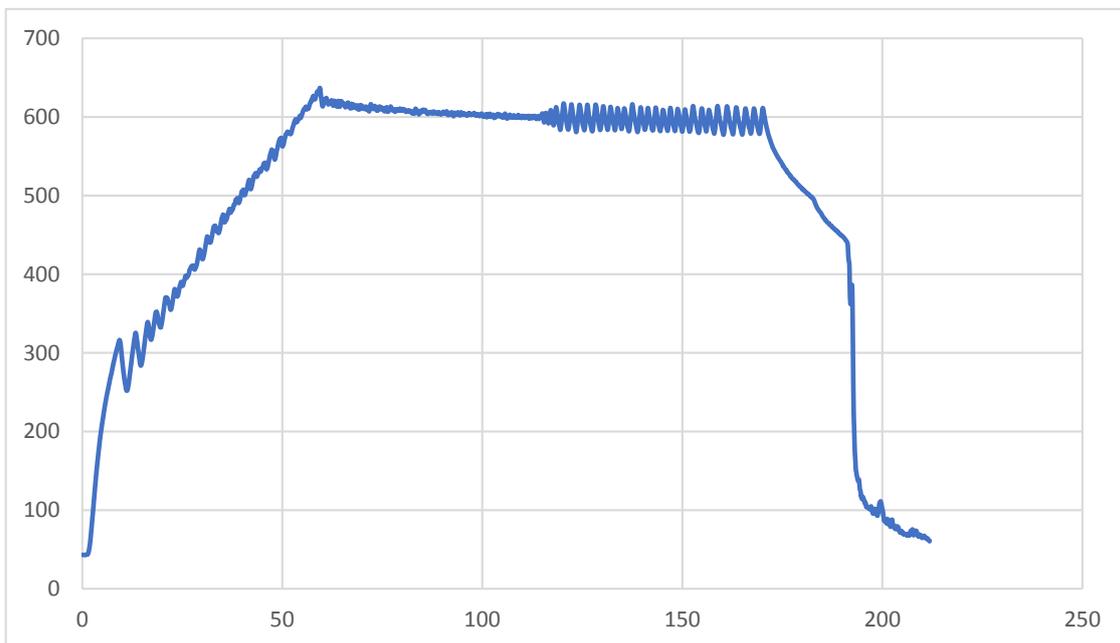


Gráfico 28 – Tempo x temperatura – termopar 1

Fonte: Autores

Além das tabelas podemos analisar o termopar da placa mais próxima ao forno por meio do gráfico 31, onde pode-se ver um crescimento aproximadamente linear de temperatura; no momento em que a placa rompe, há um rápido acréscimo de temperatura até a mesma estabilizar e retornar a crescer, de forma gradual a uma taxa fixa até a temperatura máxima desejada.

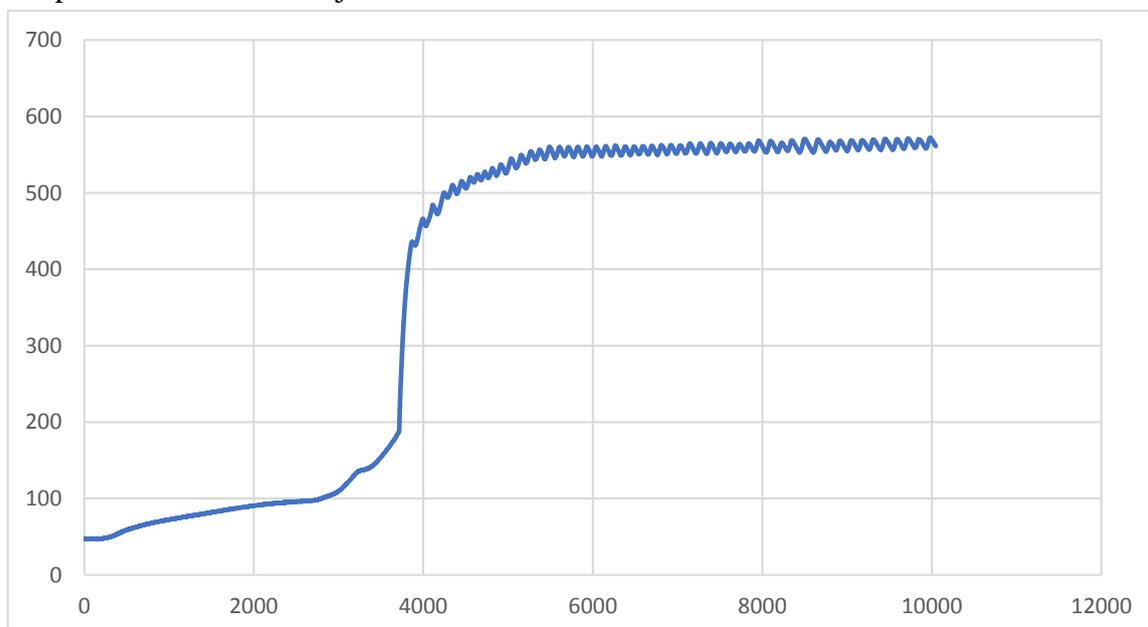


Gráfico 29 – Tempo x temperatura – termopar 2

Fonte: Autores

A figura 18 pode-se observar as placas após ensaio, sendo importante destacar a ruptura na parte central das mesmas até a placa 3.



Figura 18- Face exposta ao forno

Fonte: Fotos dos autores

A figura 19 refere-se ao ensaio de estanqueidade e isolamento feito na trinca existente na placa 5. Pode-se observar também manchas de água ao longo da placa, processo resultante da expulsão de água das placas pelo calor.



Figura 19 – Ensaio de estanqueidade e isolamento

Fonte: Fotos dos autores

4.9.2 Parede de 5 cm

Com a união dos blocos de gesso para obter duas paredes com 5 cm de espessura e o gradativo aumento da temperatura, observou-se o fissuramento da face exposta ao forno e nenhuma ocorrência de fissuramento na face não exposta, ou seja, passou nos testes de estanqueidade e isolamento. As fotos, tabelas e gráficos a seguir mostram os dados obtidos neste ensaio:

Os gráficos 32 e 33 mostram as curvas de aquecimento e resfriamento na face exposta ao forno:

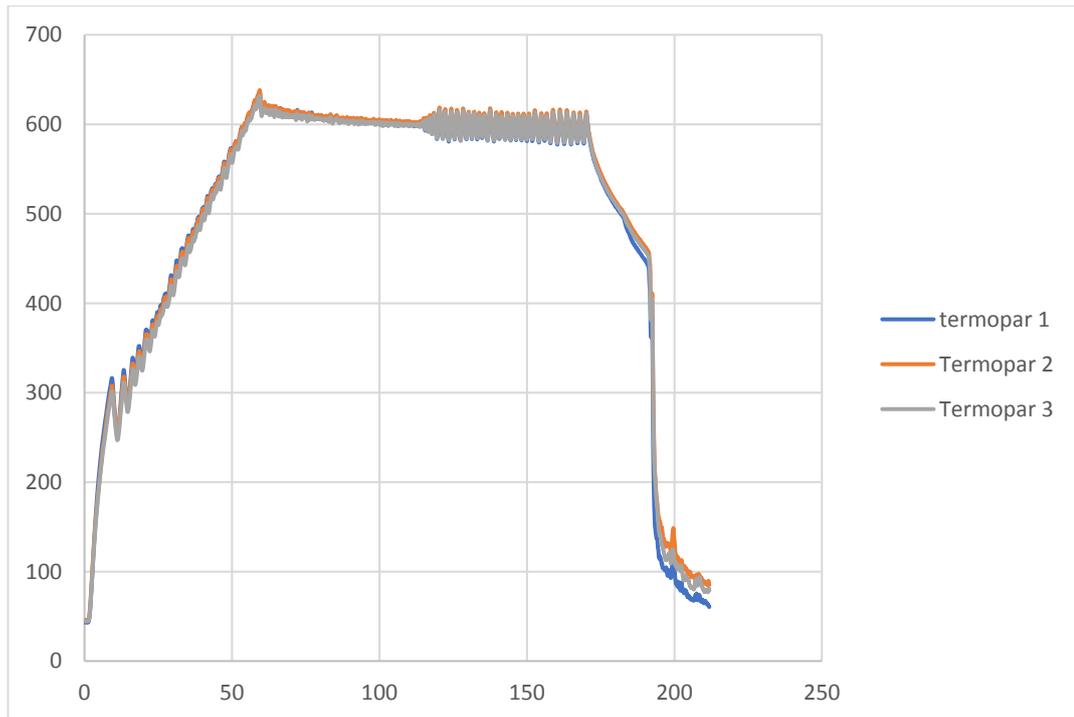


Gráfico 30 – Termopares na parede 1

Fonte: Autores

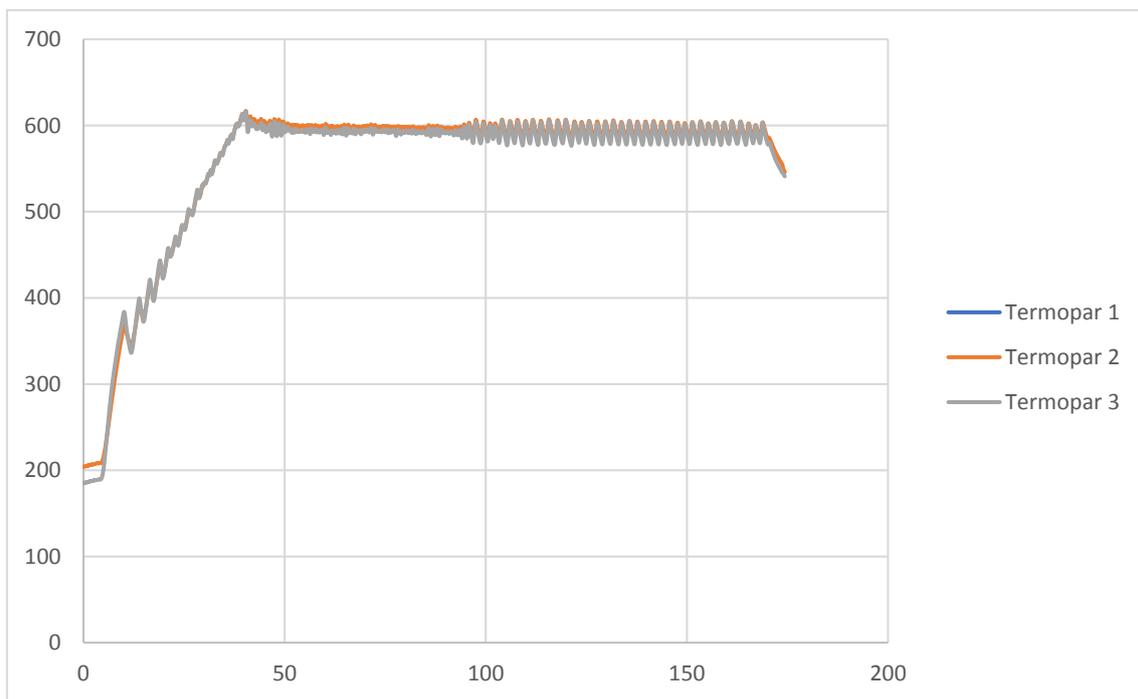


Gráfico 31 – Termopares na parede 2

Fonte: Autores

Os gráficos 34 e 35 mostram as curvas de aquecimento e resfriamento da face não exposta:

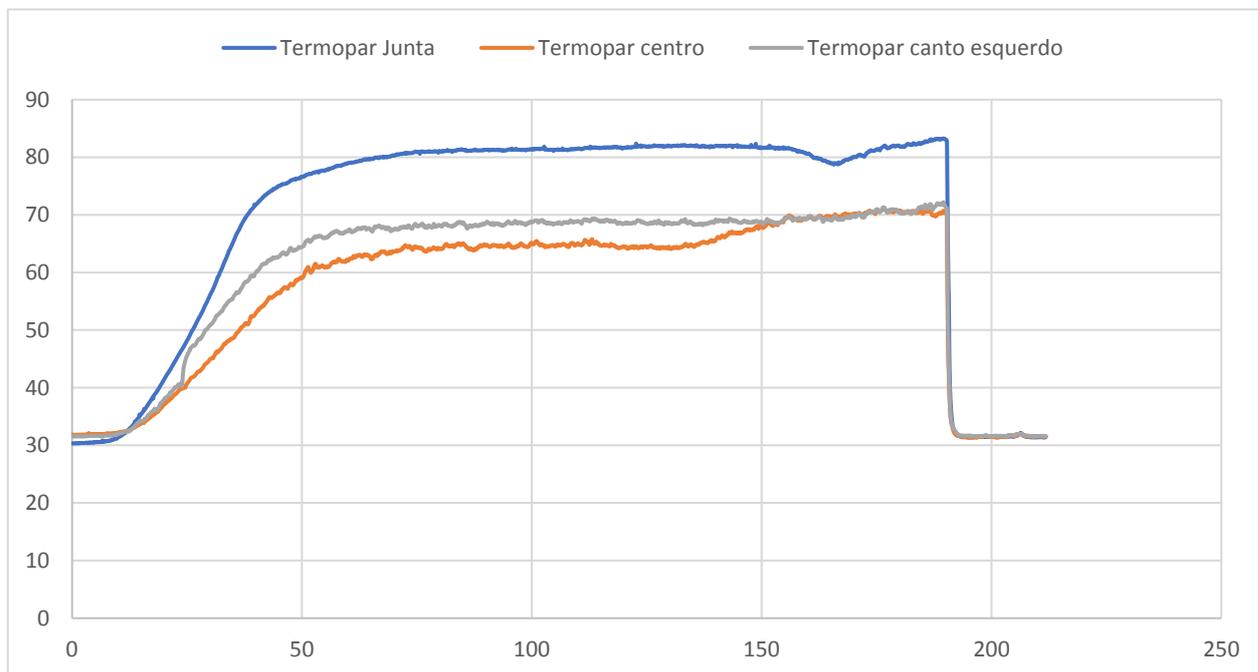


Gráfico 32 – Termopares na parede 1

Fonte: Autores

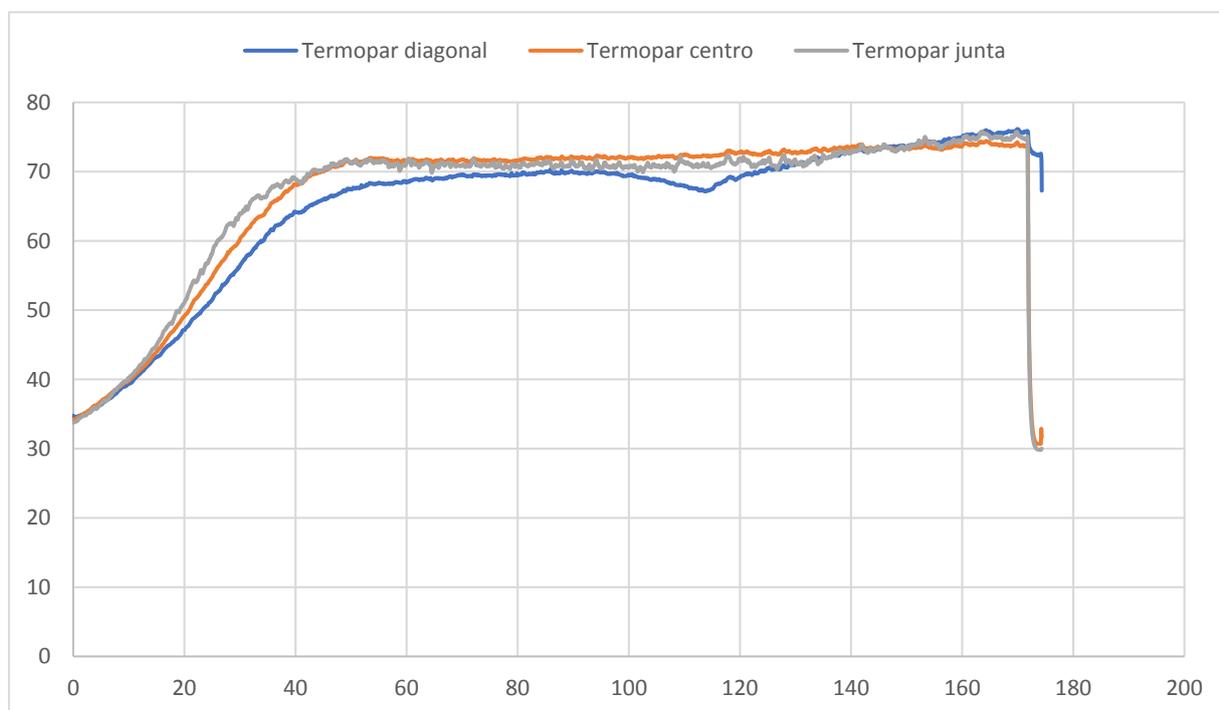


Gráfico 33 – Termopares na parede 2

Fonte: Autores

Dos dados apresentados nos gráficos acima podemos concluir que a junta, dependendo de seu acabamento, permite que uma quantidade maior de calor passe e aumente a temperatura do lado da face não exposta. E a variação entre o centro e o canto superior é pequena nas duas paredes.

As figuras a seguir mostram as faces da parede 1 após o ensaio:



Figura 20 – Face não exposta ao forno

Fonte: Fotos dos autores



Figura 21 – Face exposta ao forno

Fonte: Fotos dos autores

As figuras a seguir mostram as faces da parede 2 após o ensaio:

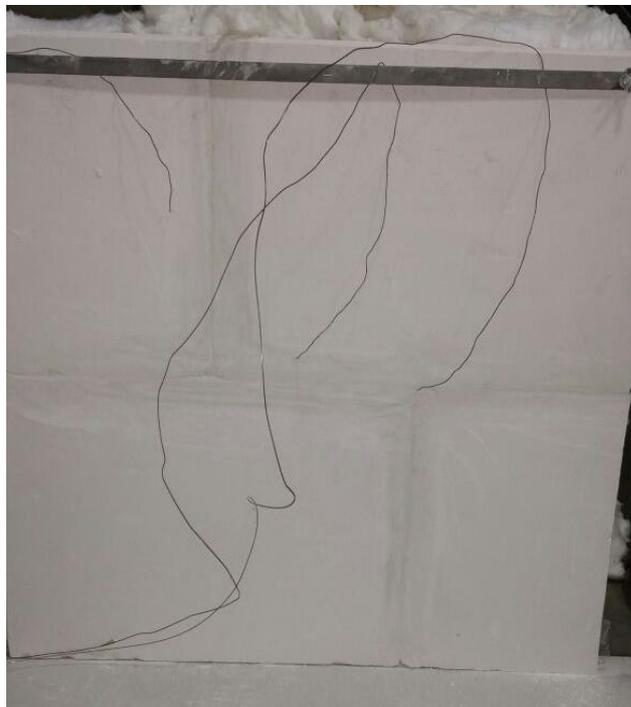


Figura 22 – Face não exposta ao forno

Fonte: Fotos dos autores



Figura 23 – Face exposta ao forno

Fonte: Fotos dos autores

4.9.3 Parede de 10 cm:

O gráfico a seguir representa o aquecimento e resfriamento no interior forno:

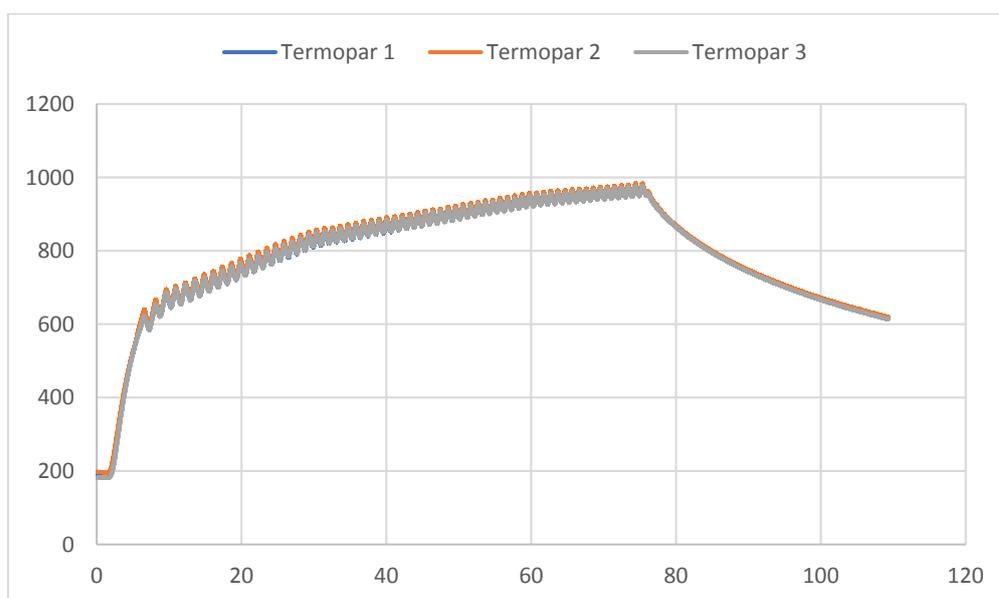


Gráfico 34 – Termopares no interior do forno

Fonte: Autores

Pode-se observar uniformidade nos dados obtidos neste forno, o que indica uma mesma taxa de temperatura ao longo de todo forno.

O gráfico a seguir representa o aquecimento e resfriamento na face não exposta da parede não exposta:

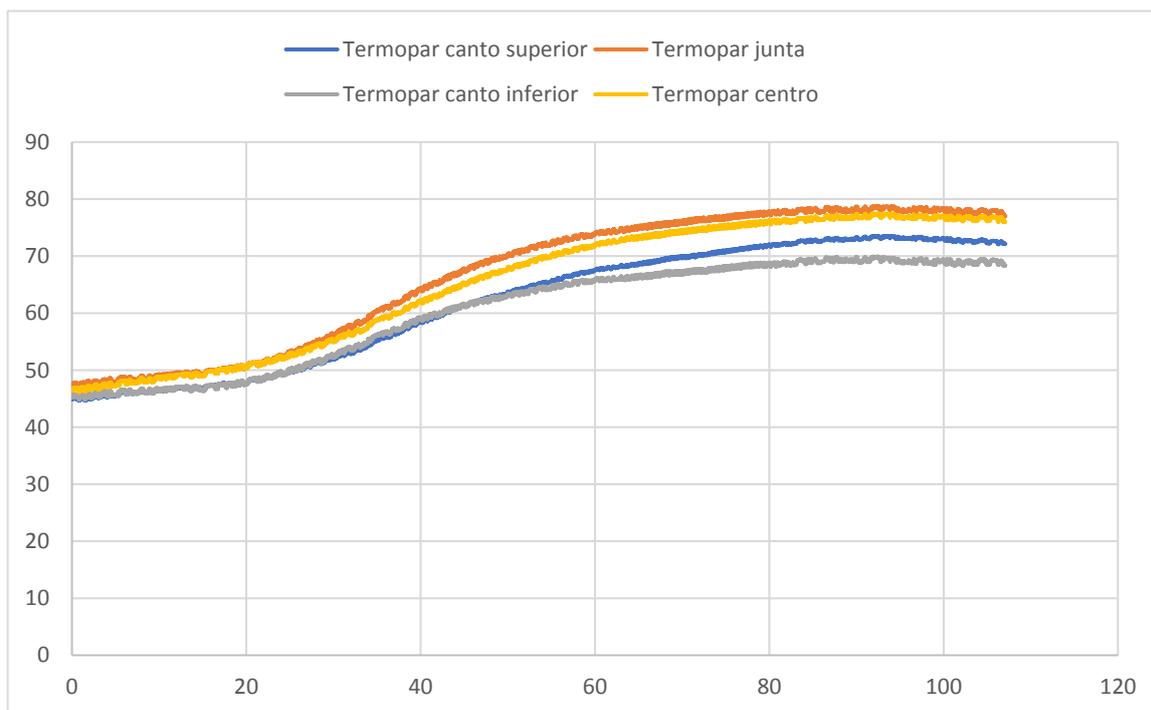


Gráfico 35 – Termopares na face não exposta ao forno

Fonte: Autores

Aqui pode-se verificar também que as juntas permitem que uma maior quantidade de calor atravesse em relação as outras áreas. Além disso observou-se que o centro da parede absorveu energia primeiro do que as extremidades.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO

5.1 Conclusão

Os resultados apresentados nos ensaios em laboratório sobre o gesso estudado superaram os estabelecidos pela norma. Mas pode-se constatar que a presença de água influencia negativamente nas propriedades mecânicas do gesso, diminuindo nem sempre de forma linear essas propriedades, impedindo assim de consistências maiores atingirem as exigências estabelecidas por norma. Podendo também retardar o tempo de pega do gesso, tornando-o mais utilizável em certas situações.

Verificou-se também que nos ensaios em altas temperaturas uma camada única (bloco) de 5 cm, ou até mesmo placas de 1cm unidas atingindo essa espessura, seria suficiente para resistir a um incêndio com temperaturas por volta dos 600°C por mais de 2h, dependendo do uso, revestimento ou parede divisória, poderia ser suficiente para proteger a estrutura ou impedir a passagem de gases e calor para outros ambientes. Garantindo a proteção da edificação e até mesmo dos indivíduos que ali residem.

Referindo-se a paredes divisórias com 10 cm de espessura constatou que elas podem ser usadas como “paredes corta fogo”, pois ao atingir temperaturas superiores a 900°C, não foi atingida na face não exposta metade do limite máximo estipulado pela NBR 10636, ou seja, esta permite que a parede fique em média com temperatura de 140°C e a parede ensaiada atingiu em média 70°C, sendo testada e aprovada nos ensaios de estanqueidade e isolamento da mesma norma.

Dessa forma, é de grande importância a fiscalização no controle da quantidade de água nas etapas de uso do gesso. E pode-se verificar, pelo histórico de poucas utilizações no ramo da construção civil, que o gesso é um material pouco explorado nacionalmente e sua utilização pode ser ampliada com o emprego adequado desse material.

Alguns fatores limitantes impediram uma avaliação mais detalhada das características do gesso e no ensaio das placas e blocos em altas temperaturas, esses itens podem ser vistos a seguir:

- Falta de ferramentas e materiais para aprofundar-se no estudo;
- Poucos equipamentos e estrutura laboratorial deficiente;

Uma avaliação nas características mineralógicas, avaliar Ph, avaliar as propriedades mecânicas do gesso em altas temperaturas, enriqueceriam o trabalho e dariam a este um olhar mais crítico em suas propriedades.

5.2 Sugestões

Sugere-se a continuidade de pesquisas em função de alguns dados coletados e a abrangência deste estudo:

- Analisar os dados obtidos segundo as exigências das normas NBR 12127, 12128 e 12129 atualizadas no dia 23/01/2017, data posterior aos ensaios deste trabalho.
- Estudar melhor o efeito da temperatura sobre as argamassas de gesso, como a redução da resistência, módulo de elasticidade, perda de massa, verificando o quanto esses parâmetros são influenciados.
- Avaliar mais detalhadamente os efeitos da temperatura sobre prismas e paredes, realizando ensaios a diversas espessuras e temperaturas e com a utilização de aditivos.
- Estudar o efeito do incremento de carga nas paredes de gesso devido ao aumento de temperatura e propor equações de correlação entre o aumento de carga e temperatura.
- Utilizar forno com taxa de aquecimento mais próxima à curva da norma a fim de que possam ser realizadas análises mais aprofundadas acerca do comportamento e desempenho dos materiais sob altas temperaturas.
- Realizar ensaios com paredes sendo expostas em ambos os lados e avaliar seu comportamento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AI NAGEIM, H., DURKA, F., MORGAN, W. and WILLIAMS, D. **Structural Mechanics: Loads, Analysis, Design and Materials**, London, Pearson Education LTD, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: Gesso para construção civil – Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural - determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____.**NBR 12127 MB-3468**: Gesso para construção- Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 12128 MB-3469**: Gesso para construção- Determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 13207**: Gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.

_____.**NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

AURÉLIO. **Aurélio Buarque de Holanda Ferreira. Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 1975. 387 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 2001. 448 p.

BRASÍLIA. Diretriz sinat N° 008, **Vedações internas em alvenaria não-estrutural de blocos de gesso**. Brasília, dezembro de 2012. 41.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. **O gesso como material de construção: Composição Química 1º parte**. São Paulo, n. 1965, p. 53-56, 1985.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. **O gesso como material de construção - propriedades físicas e mecânicas**. São Paulo, n. 1965, p. 57-60, 1985.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE GOIÁS. **Norma Técnica 02/2014 - Conceitos Básicos de Segurança contra Incêndio**. Goiás, 2014.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **O método do tempo equivalente para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Anais. IBRACON, Olinda, 2005a.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. **ISO 834**: Fire resistance tests - elements of building construction, Switzerland. 1987.

JORGENSEN, D.B. **Gypsum and anhydrite. In: INDUSTRIAL MINERAL ROCKS. Carr, D.D. (Editor).** Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1994.

KEERTHAN P, MAHENDRAN M. Numerical studies of gypsum plasterboard panels under standard fire conditions. **Fire Safety Journal.** Austrália, 12 aug. 2012; p. 105–119.

LINHALES, F. **Caracterização do gesso**, 2003. 22 f. (Monografia) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MYNIN, A.O. **Gypsum board thermal properties exposed to high temperature and fire condition**, University Sains Malaysia, 30 sep., 2012.

NITA, C.; PILEGGI, R. G.; CINCOTTO M. A.; JOHN, V. M. Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Julho/2004, São Paulo.

OLIVEIRA, C.M. de; RODRIGUES, M.C.X. **Característica de alguns gessos nacionais utilizados na construção civil.** TÉCNICA, n. 371, 1990. p.33-52.

RAHMANIAN, I. **Thermal and mechanical properties of gypsum boards and their influences on fire resistance of gypsum board based systems.** 2011. 252 f. Tese (Doutorado) - University of Manchester. UK, 2011.

SINGH, N. B.; MIDDENDORF, B. **Calcium sulphate hemihydrates hydration leading to gypsum crystallization. Progress in Growth and Characterization of Materials.** Gorakhpur (India), v. 53, p. 57-77, 2007.