



**Programa de Pós-Doutorado
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica**

**RELATÓRIO CIENTÍFICO
(Versão Final)**

Programa de Pós-doutoramento

CARLOS AMADO BRITZ, Dr.

**CONTRIBUIÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE
REVESTIMENTOS CONTRAFOGO APLICADOS EM
ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS A
TEMPERATURAS ELEVADAS.**

Supervisor: Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva

São Paulo, maio de 2019

SUMÁRIO

1. DADOS DE IDENTIFICAÇÃO	2
2. FORMULAÇÃO DO TEMA DA PESQUISA	2
3. PREÂMBULO	3
4. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA.....	3
4.1 <i>Contextualização</i>	3
4.2 <i>Aspectos sobre a normalização</i>	4
4.3 <i>Contexto dos revestimentos contrafogo empregados nesta pesquisa</i>	8
4.4 <i>Aspectos do concreto em situação de incêndio relevantes a esta pesquisa</i>	12
4.5 <i>Objetivo da pesquisa</i>	17
5. PROGRAMA EXPERIMENTAL (PLANEJAMENTO)	17
6. ESTUDO EXPERIMENTAL (ENSAIO)	19
6.1 <i>Contextualização e soluções iniciais</i>	19
6.2 <i>Detalhes da construção dos elementos e aplicação dos sistemas de revestimento</i>	21
6.3 <i>Detalhes dos ensaios de simulação de incêndio</i>	36
6.3.1 <i>Primeiro evento de ensaio (evento 1)</i>	37
6.3.1 <i>Segundo evento de ensaio (evento 2)</i>	47
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ENSAIOS COMPLEMENTARES	59
7.1 <i>Geometria, armadura e idade avançada dos elementos ensaiados</i>	59
7.2 <i>Integridade das amostras (concreto e revestimentos) e temperaturas internas aferidas</i>	61
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	74
8.1 <i>Considerações finais</i>	74
8.2 <i>Conclusões propriamente ditas</i>	78
8.3 <i>Sobre os preços e viabilidade dos revestimentos contrafogo estudados</i> ...	79
8.4 <i>Recomendações para continuidade dos estudos</i>	80
REFERÊNCIAS	81
ANEXO A	84
ANEXO B	85
ANEXO C	86
ANEXO D	87
ANEXO E	88
ANEXO F	89

1. DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Aluno

Nome: Carlos Amado Britez

Instituição de Origem

Graduação (2001): Centro Universitário Nove Julho – UNINOVE – São Paulo – SP.

Pós-Graduação (2011) (Doutorado Direto): Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Endereço

Rua Soldado Sebastião Garcia, 81, apto. 84-B – Parque Novo Mundo – CEP 02179-050 – São Paulo – SP.

Contato:

Residência: (11) 2386-8970

Celular: (11) 94141-2270

Correio eletrônico: britez.consultoria@gmail.com

2. FORMULAÇÃO DO TEMA DA PESQUISA

Título do projeto: Contribuição para avaliação do desempenho de revestimentos contrafogo aplicados em elementos de concreto armado submetidos a temperaturas elevadas.

Palavras-chave: incêndio; revestimento contrafogo; concreto; proteção passiva; programa experimental.

Área de concentração: Engenharia de Estruturas.

Linha de pesquisa: Sistemas e materiais estruturais.

Supervisor: Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva.

Colaboração: Prof. Dr. Paulo Helene e MSc. Antonio Fernando Berto.

3. PREÂMBULO

Este relatório científico (versão final) descreve as atividades realizadas pelo pós-doutorando Dr. Carlos Amado Brites, durante o vínculo no Programa de Pós-Doutorado da Escola Politécnica de São Paulo, iniciado em abril de 2017 e prorrogado até abril de 2019, com foco no planejamento e ensaios de seu programa experimental, bem como na análise, interpretação e discussão dos resultados obtidos, principal atributo dessa pesquisa.

A prorrogação do prazo inicial do programa, devidamente aprovada em outubro de 2018, em 6 meses adicionais, se fez necessária, em virtude, principalmente, da complexidade da concepção das amostras (execução dos elementos de concreto armado), disponibilidade inicial de apoiadores e condicionantes estabelecidas no plano de pesquisa para os eventos de ensaio previstos no programa experimental, no que tange à idade de um ano completo das amostras para o ensaio de simulação de incêndio.

Esta pesquisa, além de seu ilustre supervisor, Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva, conta com a valiosa colaboração do Prof. Dr. Paulo Helene e do MSc. Antonio Fernando Berto, na orientação técnica e acadêmica e no apoio incondicional no estudo experimental, respectivamente. Ainda, com a colaboração substancial da Eng^a. Mariana Pestana de Carvalho, pela revisão do texto, formatação e arte final.

4. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Contextualização

Atualmente, é complicado subsidiar tecnicamente o uso de revestimentos contrafogo, em pelos menos duas situações: em **obras de retrofit**, em que o cobrimento de concreto da edificação existente não possui espessura em conformidade com as prescrições da normalização vigente (ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 15200:2012) para um dado TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo); bem como justificar a compensação da espessura de cobrimento (visando à ação do fogo) em elementos de

concreto com **falhas construtivas** ou **erros de projeto** (relacionados com espessura insuficiente) em obras “novas” (construídas, em teoria, com a normalização vigente).

4.2 Aspectos sobre a normalização

A ABNT NBR 14432:2001 é bem clara em determinar um TRRF mínimo para uma dada curva-padrão de incêndio (por exemplo, a ISO 834), com base no uso e na altura de uma edificação. Em termos estruturais, esta norma basicamente limita as dimensões do elemento de concreto (geometria da seção transversal) e, principalmente, a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face de concreto exposta ao fogo (parâmetro c_1 , dependente do cobrimento e dos diâmetros das armaduras longitudinais e transversais, quando houver), estabelecidos por meio de métodos prescritos na ABNT NBR 15200:2012.

Entretanto, a ABNT NBR 15200:2012 não apresenta alternativas claras para os casos excepcionais do não cumprimento da norma, devido a um cobrimento com espessura inferior aos tabulados, a não ser, evidentemente, pela redução automática do TRRF, o que, na prática, já resulta numa situação de não conformidade pela ABNT NBR 14432:2001 e Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros. Assim sendo, são necessárias intervenções corretivas, como a aplicação de revestimentos contrafogo, a fim de se prover os três objetivos básicos de segurança e da normalização vigente já mencionada: limitar o risco à vida humana, limitar o risco da vizinhança e da própria sociedade e limitar o risco da propriedade exposta ao fogo.

Neste contexto, sob orientação deste pesquisador, no PECE (Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP), o discente Moreira (2016) procedeu com extensa pesquisa, conforme histórico abordado adiante, e observou que a utilização de revestimento contrafogo em estruturas de concreto é uma prática conhecida há pelo menos 30 anos.

Moreira (2016) aponta que a norma ABNT NBR 5627:1980 – Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo, atualmente cancelada, apresentava em seu terceiro capítulo as medidas de cobrimento mínimo para que as estruturas resistissem ao fogo nos intervalos entre 60 a 240

minutos e também permitia a contribuição do revestimento como camada protetora em todas as peças estruturais (pilares, vigas e lajes de qualquer tipo).

Basicamente, estabelecia que se houvesse revestimento de argamassa de cal e areia aderente a estrutura, poder-se-ia reduzir 10 mm do cobrimento de concreto para cada 15 mm de espessura desse revestimento (eficiência de 67%) e, ainda, que se houvesse o emprego de revestimento de gesso, fibras de amianto ou argamassa de vermiculita, poder-se-ia reduzir 10 mm do cobrimento de concreto para cada 4 mm desse revestimento (eficiência de 250%).

Ainda, Almeida (1984) destaca em sua dissertação de mestrado que, dentre os recursos básicos contrafogo disponíveis no Brasil, na época, encontravam-se os revestimentos isolantes, constituídos de vermiculita, concretos leves e gesso natural, as tintas retardantes e intumescentes e pinturas texturizadas com carga de perlita.

Landi (1986), por sua vez, observa que a quantidade de resultados experimentais disponíveis no Brasil até a década de 80 era muito pequena, portanto, o que se utilizava eram as recomendações constantes na norma, que foram definidas em conjunto pelo *Comite Europeen du Beton (CEB)* e a *Federation Internationale de la Precontrainte (FIP)*.

Neste contexto, o Boletim Técnico nº. 01/86, publicado pela Escola Politécnica da USP, estabelecia que se a armadura fosse revestida por argamassa ao invés de concreto, eram válidas as recomendações da ABNT NBR 5627:1980, referente à redução da espessura de cobrimento da estrutura equivalente ao revestimento de argamassa de cimento-cal-areia ou cimento-vermiculita, cimento-amianto e gesso-vermiculita, de acordo com a sua eficiência (LANDI, 1986).

Basicamente, o prescrito na ABNT NBR 5627:1980 era:

3.3.1.2 Se houver revestimento de argamassa de cal e areia com aderência ao concreto convenientemente garantida, para cada 15 mm de espessura deste revestimento podem ser reduzidos 10 mm do cobrimento mínimo especificado de concreto, respeitado sempre o prescrito pela NBR 6118.

3.3.1.2.1 Se for empregado revestimento de gesso ou de fibras de amianto, ou de argamassa de vermiculita, a redução de 10 mm do cobrimento deve corresponder a 4 mm desse revestimento [...].

3.3.3 Valores inferiores aos mínimos estipulados [...] podem ser aceitos no caso de peças pré-fabricadas em usina, desde que comprovado em laboratório oficialmente reconhecido que o seu desempenho em presença do fogo garanta sua resistência para as durações estipuladas nesta Norma.

A norma ABNT NBR 5627:1980 foi cancelada em 2001 e substituída pela Anexo B do texto de revisão da ABNT NBR 6118, versão de 2001, contudo, esse anexo foi suprimido na versão final da ABNT NBR 6118:2003 (SILVA, 2007).

Mais adiante, já em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a ABNT NBR 15200:2004 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Segundo Silva (2007), o texto base para essa norma teve origem no Anexo B comentado no parágrafo anterior. Essa norma se mostrou-se mais completa, pois apresentou informações referentes as propriedades do concreto e do aço em situação de incêndio, procedimentos para verificação das condições de segurança e métodos de dimensionamento para projetos de estruturas envolvendo ações excepcionais (ação do fogo).

Comparando-se a ABNT NBR 5627:1980 e a ABNT NBR 15200:2004, nota-se que a norma mais recente incorporou às recomendações de cobrimento outros apontamentos sobre a distância c_1 (entre o eixo da armadura longitudinal e a face de concreto exposta ao fogo), variando em função das dimensões das peças, tipo de peça, TRRF e quantidade de faces expostas ao fogo. Além disso, recomendações mais assertivas de dimensões mínimas das seções dos elementos estruturais também foram adicionadas.

Permaneceu inalterada a contribuição dos revestimentos de argamassa de cal-areia, cimento-areia ou gesso, vermiculita e fibras, no cálculo da distância do eixo da armadura à face do concreto exposta ao fogo (c_1), antes denominada simplesmente como cobrimento na ABNT NBR 5627:1980.

Em 2012 foi publicada uma nova versão (revisão) dessa norma, a ABNT NBR 15200:2012, vigente até o momento da elaboração deste relatório científico. Essa norma, como na versão anterior publicada em 2004, apresenta detalhadamente os requisitos para dimensionamento de estruturas de concreto em situação de incêndio. Em síntese, o requisito principal a ser atendido é a distância c_1 (Figura 1), para

elementos de vigas, pilares e lajes de diversos tipos e seções, resistirem a um determinado TRRF também especificado nessa mesma norma.

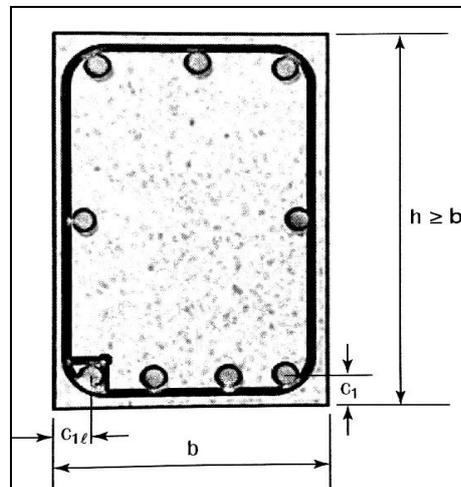


Figura 1 – Distância c_1 (SILVA, 2012).

Duas alterações importantes são identificadas neste capítulo: (a) foi incluída a proibição de se considerar o revestimento na determinação das dimensões mínimas da seção transversal de pilares e lajes lisas ou cogumelo; e (b) foi removida a equivalência de 250% de eficiência em relação ao concreto para os revestimentos de gesso, vermiculita ou fibras. Conforme explicitado na norma, a eficiência e aderência destes materiais deve ser demonstrada experimentalmente (ABNT NBR 15200:2012).

Silva (2012) destaca o mesmo texto restritivo quanto à contribuição do revestimento para pilares e lajes lisas ou cogumelo, exposto no parágrafo anterior. Na publicação também não é apresentada a eficiência da argamassa de gesso, vermiculita e fibras que, até antes da revisão da norma, era amplamente divulgada em 250% em relação ao concreto. Silva (2012) explica também que se pode considerar o revestimento contrafogo para compensação da distância c_1 , mas não para verificação da dimensão mínima da seção de pilares.

Moreira (2016), sob orientação deste pesquisador, finaliza sua revisão de literatura enfatizando que, apesar da norma vigente condicionar a utilização dos revestimentos de gesso, vermiculita e fibras à realização de ensaio experimental que comprove a eficiência, há históricos de recomendação e utilização desses materiais desde a década de 80, os quais, segundo Landi (1986), foram incorporados na normalização brasileira. Neste contexto, pode-se presumir que são materiais eficientes em situação

de incêndio e potenciais candidatos como alternativa de revestimento contrafogo ao concreto.

Nesse aspecto, a pesquisa objeto deste relatório científico irá tratar desses revestimentos contrafogo permitidos pela norma ABNT NBR 15200:2012, mas também examinar outras soluções, como tintas intumescentes, a fim de ampliar as opções às argamassas cimentícias e revestimentos em gesso (que devem ser comprovados experimentalmente, como prescrito na norma vigente), para utilização em situações como obras de *retrofit* ou recuperação estrutural ou por falha de execução, as quais, por sua natureza, podem possuir muitas limitações, inclusive arquitetônicas.

4.3 Contexto dos revestimentos contrafogo empregados nesta pesquisa

O comportamento de **argamassas base cimento**, um dos revestimentos contrafogo empregados no estudo experimental, já está bem consagrado no meio técnico-acadêmico. A facilidade de obtenção dos materiais constituintes, o preço relativamente baixo e o uso difundido entre os profissionais da construção civil, fazem com que esse sistema candidato seja o mais acessível entre os demais estudados; independentemente da opção por argamassa dosada em obra ou industrializada, que depende basicamente da preferência do usuário. Por questões de produtividade e redução de mão de obra em canteiro, a tendência é o uso de argamassas industrializadas, como a empregada no estudo experimental desta pesquisa.

Um exemplo da utilização do revestimento de argamassa de cimento e areia, neste caso dosada em obra, foi encontrado na publicação de referência *“Retrofit da estrutura de concreto armado de um edifício em São Paulo com mais de 50 anos de idade”*, artigo apresentado ao XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção (CONPAT), na cidade de Lisboa, Portugal (HELENE *et al.*, 2015).

O artigo expõe o *retrofit* de um edifício com 10 pavimentos, construído na década de 50, situado na cidade de São Paulo, Brasil. O edifício foi construído pela já extinta Construtora Warchawchick Neumann, em 1959. Sua estrutura foi executada pela também extinta Edibrás Construções Ltda. e projetada pelo Escritório Técnico Júlio Kassooy e Mario Franco, Eng. Civil Ltda. (JKMF), ainda atuante.

Na época em que o edifício foi construído não existia normalização para projeto de estruturas em situação de incêndio, no entanto, na fase do *retrofit*, entendeu-se como necessário que a estrutura cumprisse com um TRRF de 90 minutos (HELENE *et al.*, 2015).

Segundo os autores, a solução técnica definida foi a de regularizar a espessura dos elementos estruturais com argamassa de cimento e areia, de forma a atender as exigências normativas. Neste contexto, foi especificada uma argamassa estrutural de cimento e areia com $f_{ck} \geq 30$ MPa, dosada e posteriormente projetada (com equipamento de projeção) em obra. O traço utilizado foi de 1:4, com relação a/c < 0,4. Utilizou-se cimento CP II-Z-32 e aditivo específico para projeção.

A ideia desta pesquisa é a de usar esse mesmo conceito, entretanto, com uma argamassa industrializada padrão de mercado, sem propriedades especiais para resistir às ações do fogo (para testar e difundir o uso mais acessível possível). No capítulo deste relatório referente ao estudo experimental será bem descrito o produto empregado, bem como os procedimentos aplicados.

Outro produto também utilizado como revestimento contrafogo no estudo experimental dessa pesquisa é o **gesso**, abordado por Malhotra (1982) em interessante publicação, que discute e compara diversas propriedades dos materiais a elevadas temperaturas (concreto, alvenaria, madeira, aço, plásticos e gesso).

Os dados reproduzidos de Malhotra (1982) podem ser observados na Tabela 1. Nesse aspecto, é importante observar que o gesso fisicamente não se deforma como o aço e os plásticos e nem se derrete como os plásticos na presença de elevadas temperaturas. Além disso, não possui o comportamento de deslocamento (*spalling*), fenômeno geralmente observado em elementos de concreto. Nota-se, ainda, que quimicamente o gesso também não se carboniza e não se decompõe, como ocorre com as madeiras e os plásticos.

Tabela 1 – Propriedades dos materiais a elevadas temperaturas (traduzida e adaptada de MALHOTRA, 1982).

Propriedade ou característica	Concreto	Aço	Alvenaria	Madeira	Plástico	Gesso
FÍSICAS						
Densidade	x	x	x	x	x	x
Expansão	x	x	x	–	x	x
Relaxação	–	x	–	–	x	–
Fusão / derretimento	–	–	–	–	x	–
Desplacamento (<i>spalling</i>)	x	–	–	–	–	–
QUÍMICAS						
Decomposição	–	–	–	x	x	–
Carbonização	–	–	–	x	x	–
MECÂNICAS						
Resistência à tração	x	x	–	x	x	x
Resistência à compressão	x	x	x	x	x	x
Módulo de elasticidade	x	x	x	x	x	–
Relação tensão/deformação	x	x	–	–	x	–
Fluência	x	x	–	–	x	–
TÉRMICAS						
Condutividade	x	x	x	x	x	x
Calor específico	x	x	x	x	x	x

Nota: (x) aplica-se (–) não se aplica

Malhotra (1982) aponta que a gipsita é calcinada a cerca de 150 °C para produzir gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$), que quando misturado com a água reverte mais uma vez em gipsita. Pode ser usada misturada com areia, cal ou com agregados leves como perlita ou vermiculita. Em exposição a elevadas temperaturas, muda para o hemidrato entre 100 °C e 140 °C e libera uma quantidade significativa de umidade que, por sua vez, absorve uma quantidade significativa de calor. Entre 400 °C e 500 °C, o hemidrato se calcina e se transforma em anidro insolúvel.

Complementando, Alexander (1982) acena que a resistência ao fogo do gesso pode ser atribuída a uma série de razões. Os cristais de gesso contêm 50% de água em volume e cerca de 21% em massa. A elevadas temperaturas, as estruturas protegidas por gesso permanecem íntegras a cerca de 100 °C a 140 °C até o gesso ser transformado em hemidrato; e a temperatura não excede os 250 °C até que se conclua a desidratação formando o sulfato de cálcio anidro. Esse comportamento possui vantagens como, por exemplo, eliminar o choque térmico, impedindo o deslocamento

premature do concreto ou a sua expansão térmica excessiva. Limita ainda a expansão da estrutura protegida restringindo o seu aumento de temperatura e, dessa forma, aumentando o tempo de resistência ao fogo.

Sobre as **tintas intumescentes** (outro produto também ensaiado no estudo experimental desta pesquisa), são numerosas as pesquisas em estruturas metálicas, onde esse sistema de revestimento é bastante utilizado como proteção passiva (SILVA; BILOTTA; NIGRO, 2017; ATEFI; NADJAI; ALI, 2017; OGRIN; SAJE; HOZJAN, 2017; LUCHERINI; MALUK, 2017). Não se tem muito registro, em artigos científicos, sobre a aplicação em estruturas de concreto, fato que motivou inclusive o uso desse revestimento como uma das alternativas de estudo desta pesquisa.

O termo intumescente deriva do latim *tumescere*, que significa inchar, expandir. A intumescência ocorre pela reação de componentes ativos sob influência do calor, produzindo uma expansão significativa. Os revestimentos intumescentes mais empregados na construção civil são compostos de base água ou solvente. Tipicamente a película seca tem espessura menor que 3 mm. São muito utilizados na proteção de estruturas de aço para TRRF de 30 e 60 minutos, em alguns países tem aumentado o uso para TRRF de 90 minutos. A primeira patente data de 1938 (SEITO *et al.*, 2008).

No contexto desta pesquisa, o produto empregado se trata de uma tinta acrílica à base de água, de aparência semelhante às pinturas convencionais, e inclui propriedades antimofa e antifungo. Segundo o fabricante, o produto pode ser aplicado em placas de gesso acartonado, paredes de alvenaria, paredes de concreto, forros de gesso acartonado e paredes de *drywall*.

Quando em contato com temperaturas superiores a 200 °C, inicia-se a intumescência, resultando na expansão da camada de proteção em até 60 vezes a espessura seca do material, promovendo a proteção do substrato em temperaturas superiores a 1000 °C. Atualmente, segundo o fabricante, o produto vem sendo utilizado em grande escala para proteção de paredes de blocos de concreto convencional em atendimento à compartimentação horizontal de ambientes, em conformidade com a norma ABNT NBR 10636:1989 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio.

4.4 Aspectos do concreto em situação de incêndio relevantes para esta pesquisa

Não obstante, a fim de reproduzir a confiabilidade no estudo experimental e poder verificar a aplicabilidade real em campo, os elementos de concreto foram armados com conceitos observados por Kodur *et al.* (2000) e Kodur (2005).

Britez (2011) destaca que os estudos experimentais conduzidos pelo Professor *Ph.D.* Venkatesh Kodur¹, quando ainda vinculado ao NRC-CNRC *National Research Council Canada – Conseil National de Recherches Canada*, repercutiram bastante na área de pesquisa e desenvolvimento, principalmente, do concreto de alta resistência em situação de incêndio.

Kodur *et al.* (2000) experimentaram pilares de concreto normal e de concreto de alta resistência com seção transversal de 305 mm x 305 mm e altura de 3,810 m, sob carregamento. Os pilares de concreto normal possuíam 34 MPa e os de alta resistência 83 MPa, ambos aos 28 dias de idade.

Em extenso programa experimental, Kodur *et al.* (2000) destacaram algumas diretrizes inovadoras nas amostras envolvendo elementos estruturais submetidos a ensaios de resistência ao fogo, as quais contribuíram consideravelmente para um melhor desempenho do concreto em situação de incêndio. As principais diretrizes basearam-se em procedimentos adotados para o confinamento² dos pilares, conforme discutido a seguir.

A principal recomendação diz respeito ao arranjo (configuração) das armaduras transversais (estribos) com um travamento (confinamento) em forma de gancho a 135° na região de uma das arestas do elemento e a respectiva redução no espaçamento dos estribos, a qual corresponde a aproximadamente 0,75 vezes do requerido usualmente no concreto normal. As modificações propostas por Kodur *et al.* (2000) e também resumidas em Kodur (2005) podem ser observadas na Figura 2.

¹ Atualmente, o professor *Ph.D.* Venkatesh Kodur está vinculado ao *Center on Structural Fire Safety and Diagnostics* do *Department of Civil & Environmental Engineering* da *Michigan State University*.

² Apesar de não ser normalizada, a proposta de confinamento em pilares de concreto é uma prática comum em diversos projetos estruturais desenvolvidos no Brasil.

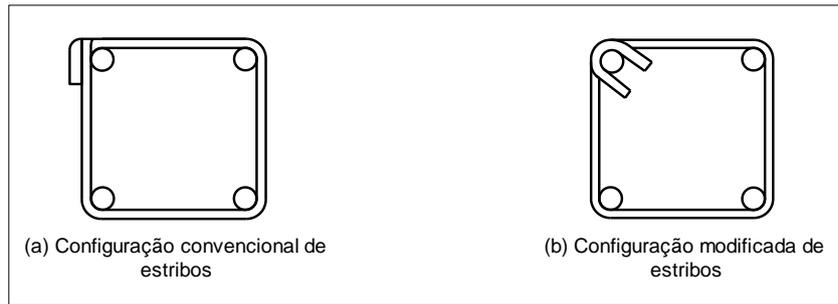


Figura 2 – Configuração da armadura da seção transversal convencional (estribos) de um pilar de concreto de alta resistência (a) e configuração modificada para melhor (b) (KODUR, 2005).

O resultado positivo da proposta de Kodur (2005) é evidente quando observados os dois elementos de concreto da Figura 3, após os respectivos experimentos de verificação de resistência ao fogo, realizados sob as mesmas condições de ensaio e materiais.

É importante observar, também, que nas amostras não houve adição de fibras de polipropileno na mistura de concreto, apenas a modificação no arranjo (configuração) das armaduras, conforme mencionado anteriormente e indicado explicitamente na Figura 2, combinado à respectiva redução no espaçamento dos estribos, fato este também levantado por este pesquisador em sua tese de doutoramento.



Figura 3 – Resultados obtidos após o ensaio em elevadas temperaturas, sendo (a) configuração convencional da armadura de pilares e (b) a configuração modificada para melhor (KODUR, 2005).

Os elementos de concreto objeto do estudo experimental desta pesquisa foram devidamente armados em conformidade com as diretrizes propostas em Kodur (2005). Lembra-se ainda, que no estudo experimental desta pesquisa, as amostras foram ensaiadas com aproximadamente um ano de idade.

Nesse aspecto, Kodur *et al.* (2000) destacam que, quanto maior o teor de umidade da mistura de concreto, mais intenso e severo será o fenômeno de deslocamento (*spalling*). No entanto, observa-se que certamente o teor de umidade do concreto é influenciado pela idade das amostras ensaiadas, as quais muitas vezes são experimentadas equivocadamente entre 28 e 90 dias.

Portanto, essa visão de ocorrência de *spalling*, muitas vezes é limitada nas pesquisas, pois na prática o teor de umidade sempre poderá ser bem menor do que aquele registrado nos experimentos realizados, pois a estrutura de concreto destinada a edificações somente é utilizada após longo tempo, mais de um ano após o término de sua construção, quando então passa a correr algum risco de incêndio mais representativo, com cargas térmicas mais relevantes.

Corroborando este fato, o *fib* Bulletin nº 38 (FIB, 2007) fez uma observação importante quando destacou que a influência da idade do concreto na suscetibilidade do fenômeno de *spalling* tem sido abordada com incoerência em diversas pesquisas, e alertou, ainda, que a ocorrência de *spalling* pode ser reduzida com a idade, principalmente devido ao menor teor de umidade de concretos “velhos”. De fato, o fator “idade da amostra” é uma variável importante no estudo, conforme já observado no trabalho de Morita *et al.* (2002).

Morita *et al.* (2002) realizaram extensa pesquisa para avaliar dois parâmetros: (a) a influência da relação água-cimento no grau de *spalling* e (b) a influência de diferentes configurações de armadura dos elementos de concreto de alta resistência armados para minimização do efeito de *spalling*, com e sem adição de fibras de polipropileno na dosagem.

Para avaliar a influência da relação água/cimento no grau de *spalling*, foram experimentados vários tipos de concreto (com diferentes relações a/c), sempre com duas idades diferentes: dois meses e um ano; sem variação das dimensões do

elemento estrutural (70 cm x 7 cm x 14 cm) e da espessura de cobrimento da armadura (5 cm). O ensaio de simulação de incêndio foi realizado de acordo com as prescrições da curva-padrão ISO 834 por um tempo de 180 minutos (3 h).

Ressalta-se que a pesquisa realizada por Morita *et al.* (2002) nos mesmos elementos de concreto “irmãos” com idades distintas foi fundamental para o contexto da proposta do plano de pesquisa de pós-doutoramento.

Na Figura 4 é possível observar a considerável diferença em função da idade do elemento de concreto para valores de relação água/cimento equivalentes (exemplo para: $a/c = 0,375$ e $a/c = 0,449$).

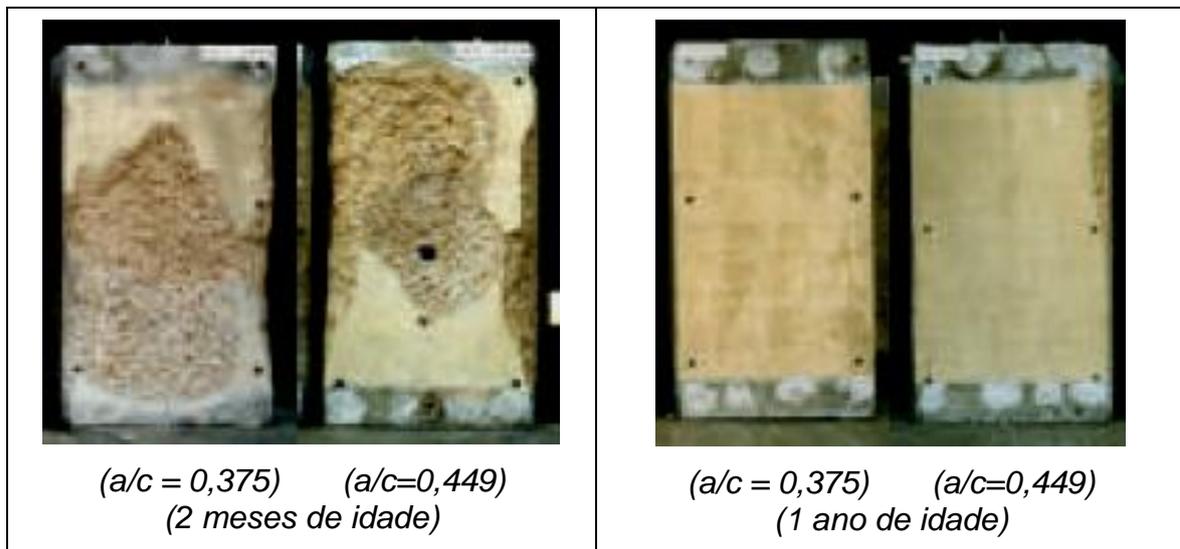


Figura 4 – Pilares de concreto armado após o experimento de simulação de incêndio (180 minutos): efeito da relação água/cimento e da idade, na ocorrência do fenômeno de spalling, seção transversal quadrada, 70 cm de lado (MORITA *et al.*, 2002).

O experimento conduzido por Morita *et al.* (2002) parece contribuir para evidenciar o quão equivocadas e limitadas são as pesquisas realizadas para avaliação da intensidade de *spalling* em elementos de concreto em idades prematuras (28 dias), gerando conclusões precipitadas sobre a ocorrência de um fenômeno que depende significativamente do fator tempo (idade da amostra) e do teor de umidade (grau de hidratação do concreto).

Nesse aspecto, em sua pesquisa de doutorado, Brites (2011) realizou um experimento envolvendo um pilar de grandes proporções, protótipo dos pilares de concreto armado

colorido de alta resistência do edifício e-Tower, recorde mundial em resistência na época (HELENE; HARTMANN, 2003), com idade avançada de oito anos.

Na oportunidade, os resultados demonstraram que o concreto de alta resistência se comportou de forma íntegra frente ao fogo (Figura 5), com 95% de sua área de seção transversal mantida após o ensaio de simulação de incêndio (somente 5% reduzida efetivamente por efeito de *spalling*). O pilar experimentado (f_{ck} de 140 MPa) possuía seção transversal de 70 cm x 70 cm, 2 m de altura e cobrimento médio de 25 mm. Foi ensaiado com três faces expostas ao fogo por um tempo de 180 min (3 h), sem carregamento, com simulação de incêndio caracterizada pela curva-padrão de aquecimento ISO 834 no Laboratório de Segurança ao Fogo do IPT em São Paulo.

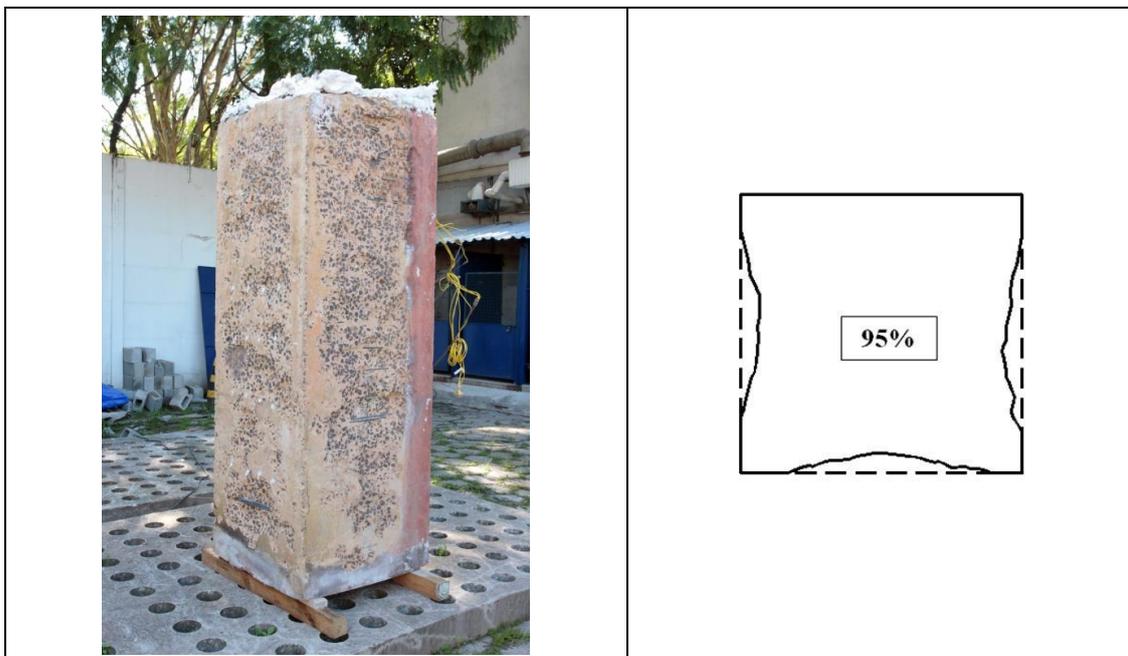


Figura 5 – Integridade do pilar e detalhe da seção transversal preservada após 180 min (3 h) de ensaio (mostrando a redução de seção transversal sofrida somente por efeito de *spalling*) (BRIITEZ, 2011).

Além da idade avançada, Britez (2011) aponta que outros fatores contribuíram positivamente para o bom desempenho do pilar, como o tipo de agregado graúdo empregado na dosagem original (basalto), bem como o tamanho da seção transversal e a configuração das armaduras da amostra.

Neste contexto, essa pesquisa aborda, em seu programa experimental, elementos de concreto revestidos contrafogo com idade avançada (um ano).

4.5 Objetivo da pesquisa

Comparar diferentes sistemas de revestimento contrafogo³ (em relação a uma amostra de referência, sem revestimento), aderidos a elementos de concreto armado, com um ano de idade e cobrimento de 1,5cm (para simular a situação das obras de *retrofit*, ou de elementos com falhas construtivas e erros de projeto relacionados à espessura insuficiente de cobrimento), e avaliar o desempenho destes sistemas de revestimento por meio de inspeção visual e verificação da evolução das temperaturas internas após ensaios experimentais de simulação de incêndio, com uso de termopares previamente instalados, em um forno de grande porte com sistema de queimadores a gás natural, por um tempo de 120 minutos, sob a curva ISO 834.

5. PROGRAMA EXPERIMENTAL (PLANEJAMENTO)

Foram realizados dois eventos de ensaio com quatro elementos de concreto cada, com idades de um ano e f_{ck} de 25 MPa, sob a curva-padrão de incêndio ISO 834 pelo tempo de 120 minutos (2h), no Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões (LSFEx) do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), situado dentro da Cidade Universitária, na Rua Almeida Prado, 532, Butantã, São Paulo. A avaliação foi realizada durante e após o ensaio, por intermédio de inspeção visual (análise do grau/intensidade de *spalling*) e com referência a um elemento não revestido (em cada evento de ensaio). Cada elemento possuía 2,40 m de altura, 30 cm de profundidade e 40 cm de largura. O planejamento estratégico previu que os mesmos fossem construídos na parte interna do novo galpão do LSFEx, para evitar risco de avarias no transporte e manuseio das amostras e, conseqüentemente, comprometimento de toda a pesquisa.

Além disso, foi analisada (principalmente) a capacidade protetiva do revestimento por meio da evolução de temperaturas no interior do elemento de concreto, que foi monitorada por meio de sete termopares por elemento (total de 28 termopares por ensaio), instalados estrategicamente na massa de concreto (seis por elemento no

³ A premissa da pesquisa é a de usar os próprios revestimentos naturais de uma edificação (argamassa e gesso), bem como a opção de tinta intumescente, para um elemento de concreto armado construído proposadamente com cobrimento de 1,5 cm (aquém das especificações de um TRRF de 120 minutos).

interior da massa de concreto e um na sua parte externa para aferição da capacidade de isolamento de temperatura), conforme exposto nas figuras 6 a 8.

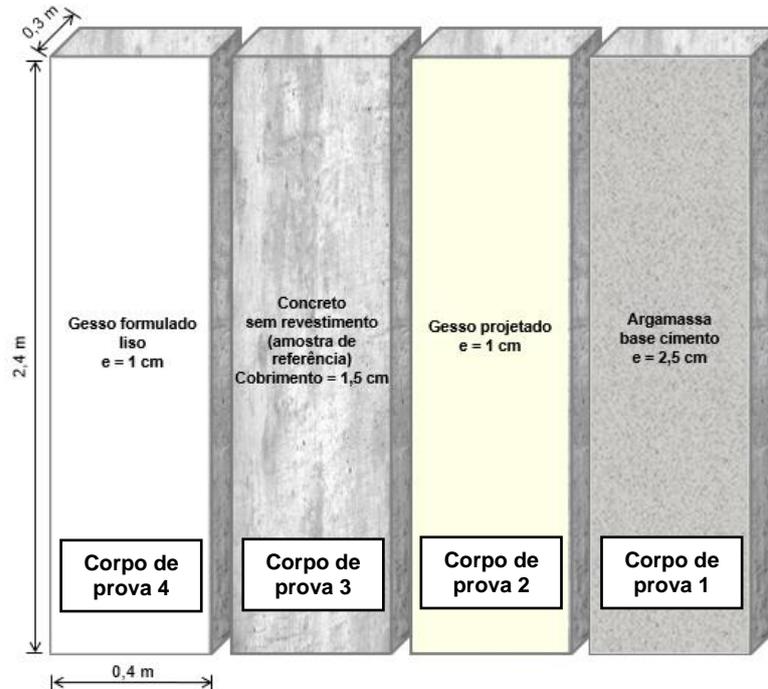


Figura 6 – 1º evento de ensaio: quatro elementos (revestimento em gesso formulado liso, sem revestimento/referência, gesso projetado e argamassa base cimento).

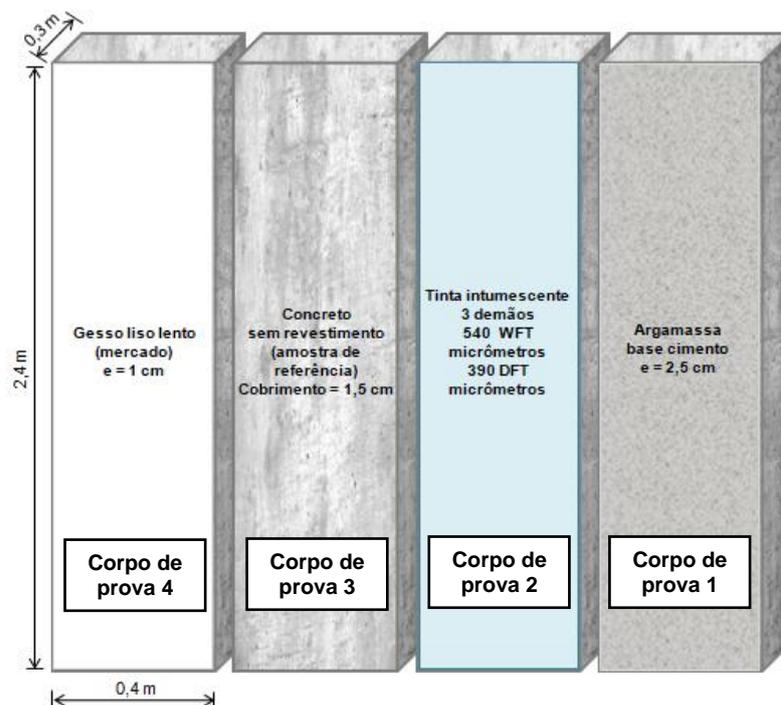


Figura 7 – 2º evento de ensaio: quatro elementos (revestimento em gesso liso lento popular de mercado, sem revestimento/referência, tinta intumescente e argamassa base cimento).

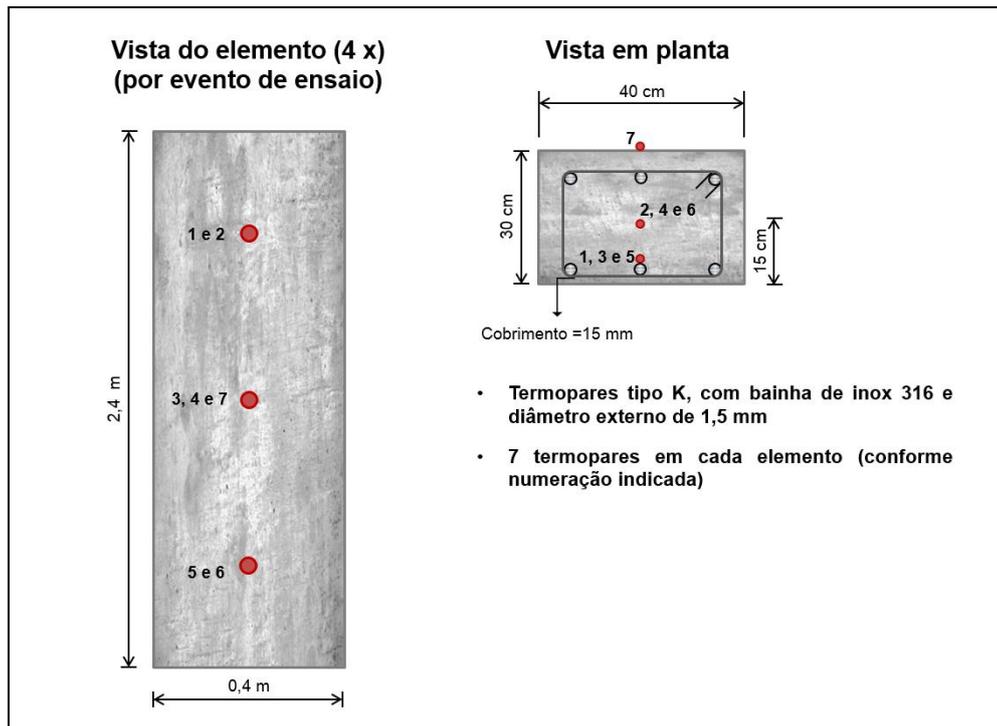


Figura 8 – Detalhe da locação dos termopares para ambos os ensaios.

Ao todo, foram ensaiados cinco tipos de revestimentos contrafogo: gesso liso lento popular de mercado e gesso formulado liso (aplicados manualmente), argamassa base cimento industrializada comum (preparada *in loco*), tinta intumescente e gesso projetado (aplicado com auxílio de equipamento industrial de projeção). O gesso liso lento, o gesso formulado e o gesso projetado possuem composições químicas distintas, conforme será bem discutido adiante, em função de sua procedência.

6. ESTUDO EXPERIMENTAL (ENSAIO)

6.1 Contextualização e soluções iniciais

Após a aprovação do plano de pesquisa em abril de 2017 e ingresso no programa de pós-doutoramento, o primeiro passo foi o de proceder com os projetos preliminares de fôrma e armadura dos elementos de concreto e buscar parceiros para apoiar o estudo experimental a ser desenvolvido, inclusive para o fornecimento do concreto e mão de obra para execução das amostras.

Neste contexto, a empresa PERI Brasil, do segmento de fôrmas e escoramentos, concordou em apoiar a pesquisa com o empréstimo do sistema de fôrmas (chapas e vigamentos em madeira), inclusive elaborando o projeto executivo junto deste pesquisador. O projeto de fôrmas elaborado envolveu da ordem de 500 kg de material e consta no Anexo A deste relatório científico.

Isto posto, a empresa ArcelorMittal, siderúrgica produtora de aço líder no setor, se interessou pelo projeto e concordou em fornecer todo o aço para a construção dos oito elementos de concreto armado. O projeto dessas armaduras consta no Anexo B deste relatório científico e envolve da ordem de 400 kg de aço. O projeto foi elaborado pela empresa PhD Engenharia com colaboração do Eng. Douglas Couto, mestre na área de estruturas, e colaboração deste pesquisador.

Ainda, como apoio, a empresa Engemix S. A. / Votorantim Cimentos forneceu um substancial abatimento para o fornecimento do concreto com f_{ck} 25 MPa (carta traço consta no Anexo C) e a empresa Equilibrata, especializada em recuperação e reforço de estruturas de concreto, foi responsável pela mão de obra na construção dos elementos (montagem de fôrma e armação, instalação de todos os termopares, lançamento, adensamento e acabamento do concreto, cura e posterior desfôrma).

Incondicionalmente, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), representado pelo Msc. Antonio Fernando Berto, forneceu apoio no espaço para construção dos elementos em concreto armado, procedeu com a movimentação dos mesmos com uso de ponte rolante própria e ainda a colaborou na guarda por um ano das amostras num galpão coberto, bem arejado e seguro.

A empresa GP&D, por intermédio de seus sócios, MSc. Alexandre Amado Britez e MSc. Valéria Pontes Guimarães Britez, também colaborou com o fornecimento de parte dos materiais de aplicação dos revestimentos (chapiscos, argamassa e gesso liso lento popular de mercado) e toda a mão de obra para aplicação dos mesmos, a qual foi conduzida pelos profissionais especializados em serviços de empreitada, Sr. Elenilson Bispo da Costa e Sr. Damião Barros Galdino.

Por sua vez, os ensaios de simulação de incêndio foram subsidiados pelas empresas CKC do Brasil e Grupo Saint-Gobain (Placo do Brasil), inclusive a última na doação de

parte dos termopares. A empresa TEGRA Incorporadora também colaborou com importante verba para apoio em diversas despesas correlatas com a realização dos ensaios, inclusive em parte dos termopares. A empresa Glasser doou todos os blocos de concreto estruturais para a construção da parede de fechamento do forno.

As informações sobre a sugestão dos prazos para aplicação dos revestimentos após a execução dos elementos de concreto foram compartilhadas pelo Eng. Carlos Grazina da Cyrela Brazil Realty, com o intuito de simular bem os prazos de uma obra convencional. Ainda, o Eng. Caio Moreira da Scout Experts e aluno de especialização desse pesquisador no PECE-USP acompanhou integralmente e registrou (por meio de fotos e vídeos) os dois eventos de ensaio de simulação de incêndio.

6.2 Detalhes da construção dos elementos e aplicação dos sistemas de revestimento

As armaduras mencionadas no item precedente podem ser observadas nas figuras 9 e 10. As mesmas foram produzidas pela empresa Manetoni Soluções em Aço (distribuidora da ArcelorMittal) em seu complexo industrial de Piracicaba/SP e posteriormente enviadas ao IPT em São Paulo, onde as amostras foram construídas. A solução das armaduras envolveu estribos e ganchos soldados, conforme projeto disponível para consulta no Anexo B.



Figura 9 – Detalhe das armaduras e ganchos das amostras.



Figura 10 – Detalhe da armadura e dos estribos soldados junto à armadura longitudinal.

As fôrmas foram fabricadas na unidade da PERI do Brasil de Vargem Grande Paulista, sendo todas as peças já em conformidade com o projeto anteriormente mencionado (pré-fabricadas e cortadas nas dimensões previstas, somente com a montagem final no local). Este pesquisador foi responsável pelas reuniões e elaboração do projeto final junto à equipe técnica da PERI e também pela retirada e devolução de todo o material emprestado (sistemas de vigamentos) para a construção dos elementos de concreto.

As buscas de parceiros para apoio do projeto de pesquisa, bem como a fabricação das fôrmas e produção das armaduras ocorreram entre maio e agosto de 2017. Em setembro de 2017 houve a montagem das fôrmas e armaduras, instalação dos termopares, além da construção dos elementos de concreto propriamente ditos, conforme pode ser observado na seqüência completa das figuras 11 a 32, no interior do galpão cedido pelo IPT.

A primeira etapa consistiu na montagem das fôrmas pré-fabricadas, seqüência das figuras 11 a 13.

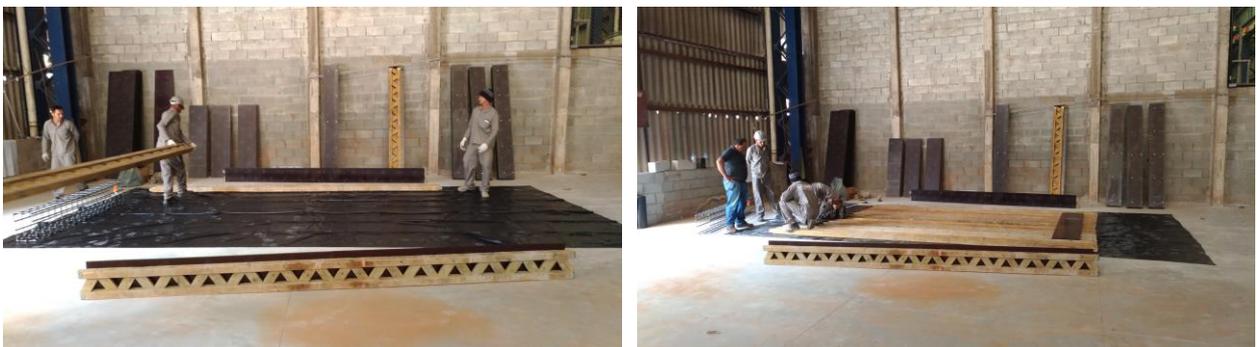


Figura 11 – Proteção do piso com lona plástica e início da montagem das fôrmas.



Figura 12 – Montagem das fôrmas de base e das laterais dos elementos.



Figura 13 – Fôrmas dos oito elementos completamente montadas.

A segunda etapa consistiu na instalação dos termopares nas armaduras, sequência das figuras 14 a 17. Ao todo, foram instalados seis termopares por elemento (internamente), distribuídos em três cotas distintas [dois para cada cota, sendo um no eixo do elemento e outro fixado na armadura longitudinal (na região do cobrimento da face que seria revestida e posteriormente exposta ao fogo)]. Para fixar o termopar no eixo da amostra foi posicionada e fixada uma malha com arame recozido, uma vez que não estava prevista armadura naquela região (nem estrutural e nem construtiva). O sétimo termopar foi instalado na face externa da amostra.



Figura 14 – Detalhe da instalação dos termopares em profundidades e cotas distintas.



Figura 15 – Detalhe da ponta do termopar instalado no eixo da amostra (fixado junto à malha de arame recozido).



Figura 16 – Detalhe da ponta do termopar instalado na armadura longitudinal (região do cobrimento na face que será exposta ao fogo).



Figura 17 – Detalhe da instalação dos termopares na cota mais baixa e de todos os termopares já instalados.

A terceira etapa consistiu na disposição das armaduras nas fôrmas, respeitando o previsto no plano de pesquisa (cobrimento de 1,5 cm, onde aplicado o revestimento contrafogo). Para tal, foi adaptado um espaçador plástico comum em obras de construção envolvendo estruturas de concreto armado, como indica a sequência das figuras 18 a 20.

Os termopares, embalados com sacos plásticos amarrados e fechados com fita crepe, foram assim identificados para saber que são os instalados na profundidade do eixo da amostra (sem fita crepe os da região do cobrimento). Os sacos plásticos foram empregados a fim de proteger os termopares durante os procedimentos de concretagem dos elementos (prevenindo avarias).

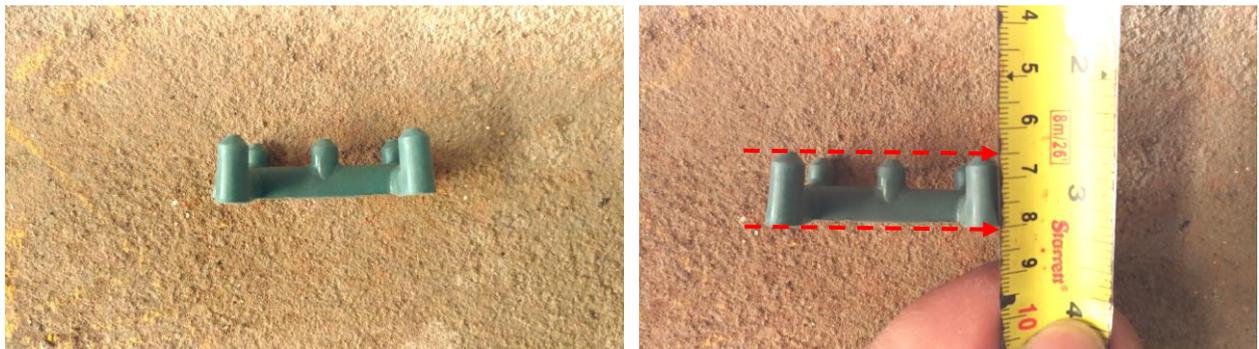


Figura 18 – Detalhe do espaçador (1,5cm de altura) fixado na armadura transversal (estribo) da face que será exposta ao fogo (face inferior).



Figura 19 – Detalhe da armadura disposta no interior da fôrma para ajustes de alinhamentos (ainda sem espaçador fixado/amarrado) e face onde o cobrimento será de 1,5cm (base).



Figura 20 – Armaduras já dispostas com espaçadores e termopares fixados (sacos plásticos com fitas crepes indicam os termopares com profundidade de leitura no eixo da amostra).

A quarta etapa consistiu no lançamento, adensamento e acabamento do concreto, (sequência das figuras 21 a 28). Ressalta-se que houve acompanhamento deste pesquisador na usina responsável pelo fornecimento do concreto, durante a sua dosagem e inclusive em seu transporte. A Engemix S. A. / Votorantim Cimentos, localizada no bairro do Jaguaré, em São Paulo, unidade responsável pelo atendimento, dista entre 3 km e 4 km (percurso com caminhão betoneira) do local onde as amostras foram construídas. Na oportunidade, foram moldados 10 corpos de prova para acompanhamento em idades distintas (inclusive com idade quando dos ensaios de simulação de incêndio propriamente dito).

Conforme pode ser observado na carta traço do Anexo C, foi empregado um concreto com uso de cimento tipo CP II-E-40, moagem procedente da fábrica de Santa Helena, areia natural quartzosa de cava (procedência da Minermix), areia de brita e brita 0 e 1 do tipo calcário de procedência da pedra VC-Araçariguama. A água fora fixada em 175 litros por metro cúbico e foi utilizado um aditivo do tipo *mid-range* para uma consistência de 20 ± 3 cm, aferida por meio de *slump-test*.

Conforme previsto no plano de pesquisa, somente um caminhão betoneira foi envolvido na concretagem dos oito elementos, não dando margem para variação do material concreto quando das análises dos resultados dos ensaios experimentais de simulação incêndio. As oito amostras, portanto, foram construídas nas mesmas condições e com os mesmos lotes de materiais (fôrma, concreto, armadura e termopares).



Figura 21 – Unidade da Engemix S. A. / Votorantim Cimentos do Jaguaré e detalhe do caminhão betoneira envolvido no fornecimento do concreto (BT código 3229 / lacre código 4F26 - 0107494).



Figura 22 – Detalhe dos elementos preparados e da chegada do caminhão betoneira no galpão do IPT.



Figura 23 – Detalhe do posicionamento da bica e do início do lançamento do concreto.



Figura 24 – Detalhe do lançamento e adensamento do concreto.



Figura 25 – Detalhe do adensamento e acabamento do concreto.



Figura 26 – Detalhe dos elementos concretados (finalizados).



Figura 27 – Detalhe da preparação e moldagem de 10 corpos de prova com 10cm x 20cm.



Figura 28 – Detalhe dos elementos no dia seguinte à concretagem e início dos procedimentos de cura (com manta encharcada com água).

A quinta etapa consistiu na desfôrma dos elementos e giro (inversão da maior face, por meio de içamento com sistema de ponte rolante por meio de ganchos instalados previamente no topo das amostras), com o objetivo de aplicar os revestimentos contrafogo na face oposta da saída da fiação dos termopares, como indica a sequência das figuras 29 a 32. As amostras foram desformadas, içadas e giradas após aproximadamente 10 dias de sua construção.



Figura 29 – Início da desfôrma dos elementos (aproximadamente dez dias após a construção) e detalhe da boa qualidade da face lateral do elemento (evidenciando um concreto bem lançado e adensado).



Figura 30 – Detalhe da desfôrma e içamento dos elementos.



Figura 31 – Detalhe de içamento (para desfôrma, à esquerda) e giro para posicionamento com a inversão da face (à direita), com uso de sistema de ponte rolante.



Figura 32 – Detalhe dos elementos já posicionados para aplicação dos revestimentos e posteriormente cobertos/protegidos (pelo prazo de seis meses).

Aos 7 e aos 28 dias de idade os corpos de prova foram rompidos no laboratório da Engemix, unidade do Jaguaré em São Paulo, onde se apurou as resistências à compressão de 20,2 MPa e 25,6 MPa, respectivamente. Os valores obtidos foram bem compatíveis com o f_{ck} de 25 MPa previsto para idade de 28 dias (de projeto).

Após a construção dos oito elementos, aguardou-se um prazo de maturidade do concreto (grau de hidratação) equivalente ao que normalmente ocorre em obra, de seis meses, para aplicação dos sistemas de revestimentos contrafogo (preparo de base e camada de revestimento propriamente dita) nos elementos construídos. Durante esses seis meses os elementos foram protegidos com uma lona plástica não aderida, somente para evitar impregnação de sujidades na superfície ou outros tipos de avaria ou até vandalismo.

Isto posto, em março de 2018, conforme previsto, todos os revestimentos contrafogo foram aplicados. Nos quatro elementos referentes ao primeiro evento de ensaio foram aplicados três tipos de revestimento (em um deles, o de referência, não foi aplicado nenhum revestimento): gesso formulado liso tipo M30, de procedência da PLACO/Saint-Gobain e de aplicação manual com desempenadeira lisa de aço; gesso projetado tipo P80, de procedência também da PLACO/Saint-Gobain e de aplicação com uso da máquina de projeção tipo M280 (m-tec); e argamassa industrializada tipo Multimassa Uso Geral Quartzolit, de procedência da Weber/Saint-Gobain, comercializada em sacos de 20 kg. As fichas técnicas dos produtos empregados no primeiro evento de ensaio constam no Anexo D deste relatório.

Para tal, foram usados dois tipos de chapiscos, sendo um especial para gesso tipo Chapisco Rolado Quartzolit que foi aplicado como base nos dois revestimentos envolvendo gesso (aplicado com rolo para aplicação textura extra rústica) e outro especial para argamassa tipo Chapisco Colante Quartzolit (aplicado com desempenadeira de aço dentada / dente 8 mm x 8 mm). Os chapiscos também foram de procedência da Weber/Saint-Gobain e os procedimentos de aplicação seguiram fielmente as recomendações das fichas técnicas dos respectivos fornecedores, que também constam no Anexo D deste relatório.

Nos quatro elementos referentes ao segundo evento de ensaio também foram aplicados três tipos de revestimento (assim como no primeiro evento, em um dos

elementos, o de referência, não foi aplicado revestimento): gesso liso lento popular de mercado (não foi autorizada a identificação da marca e procedência pelo fabricante), de aplicação manual com desempenadeira lisa de aço; tinta intumescente, tipo CKC-333 de procedência da CKC do Brasil; e argamassa industrializada tipo Multimassa Uso Geral Quartzolit de procedência da Weber/Saint-Gobain, comercializada em sacos de 20kg. A ficha técnica e a ficha de segurança da tinta intumescente empregada constam também no Anexo D deste relatório.

Para tal, também foram usados dois tipos de chapiscos (os mesmos do primeiro evento), sendo um especial para gesso tipo Chapisco Rolado Quartzolit que foi aplicado como base nos dois revestimentos envolvendo gesso (aplicado com rolo para aplicação textura extra rústica) e outro especial para argamassa tipo Chapisco Colante Quartzolit (aplicado com desempenadeira de aço dentada / dente com 8 mm x 8 mm). Os chapiscos também foram de procedência da Weber/Saint-Gobain e os procedimentos de aplicação seguiram fielmente as recomendações das fichas técnicas dos respectivos fornecedores, que também constam no Anexo D, já mencionado. A tinta intumescente não foi aplicada com ponte de aderência, conforme orientações do próprio fabricante (responsável também pela aplicação do produto), tendo a primeira demão servido exatamente para essa função.

Nota-se que o chapisco rolado especial para aderência dos revestimentos base gesso (independentemente do fornecedor ou da forma de aplicação) possui coloração avermelhada/terracota e o chapisco desempenado especial para aderência dos revestimentos base cimento (argamassa) possui coloração acinzentada, como poderá ser bem visualizado adiante na Figura 39.

A aplicação dos revestimentos propriamente ditos pode ser observada nas figuras 33 a 45. Tanto o gesso liso quanto o gesso projetado foram aplicados com espessura de 1,0 cm, controlada com uso de gabarito e paquímetro digital. A tinta intumescente foi aplicada em três demãos totalizando uma espessura úmida de 540 micrometros [termo internacionalmente conhecido como *WFT (Wet Film Thickness)*], o que corresponde a 390 micrometros seca, termo, por sua vez conhecido como *DFT (Dry Film Thickness)*]. As camadas de revestimento propriamente ditas foram aplicadas aproximadamente 15 dias após o preparo da base com chapisco [rolado (próprio para gesso) e

desempenado (próprio para argamassa)], seguindo os prazos que comumente ocorrem em obra.



Figura 33 – Detalhe das amostras após seis meses de construção, prontas para receber os sistemas de revestimentos.



Figura 34 – Detalhe de lixamento leve (lixa ferro n. 36 da Norton) e limpeza da poeira com uso de pincel de cerdas macias, precedentemente aos preparos dos substratos (limpeza inicial das superfícies).



Figura 35 – Detalhe da aplicação da primeira demão de tinta intumescente, sem fundo preparador ou ponte de aderência, conforme orientações do fornecedor do produto.



Figura 36 – Detalhe da última demão de tinta intumescente e conferência da espessura (540 micrometros) com uso de medidor de espessura de camada de tinta. A tinta foi aplicada em três demãos.



Figura 37 – Detalhe do preparo do chapisco (coloração acinzentada) e de sua aplicação na amostra que receberá o revestimento base cimento / argamassa industrializada (chapisco desempenado, dente de 8 mm x 8 mm).



Figura 38 – Detalhe do preparo do chapisco (coloração terracota) e de sua aplicação na amostra que receberá o revestimento base gesso / manual e projetado (chapisco rolado).



Figura 39 – Detalhe de todas as amostras com as bases preparadas (exceto as duas amostras de referência) para aplicação dos revestimentos.



Figura 40 – Detalhe da preparação e aplicação da argamassa industrializada base cimento, aplicada após 15 dias do chapisco desempenado.



Figura 41 – Detalhe da preparação e aplicação da argamassa industrializada base cimento, aplicada após 15 dias do chapisco desempenado.



Figura 42 – Detalhe da preparação e aplicação do gesso formulado liso manual desempenado, aplicado após 15 dias do chapisco rolado.



Figura 43 – Detalhe da aplicação e acabamento do gesso formulado liso manual desempenado, aplicado após 15 dias do chapisco rolado.



Figura 44 – Detalhe da máquina de projeção m-tec M280 e da aplicação do gesso projetado.



Figura 45 – Detalhe da aplicação e do acabamento do gesso projetado.

Os elementos finalizados podem ser bem observados na Figura 46.

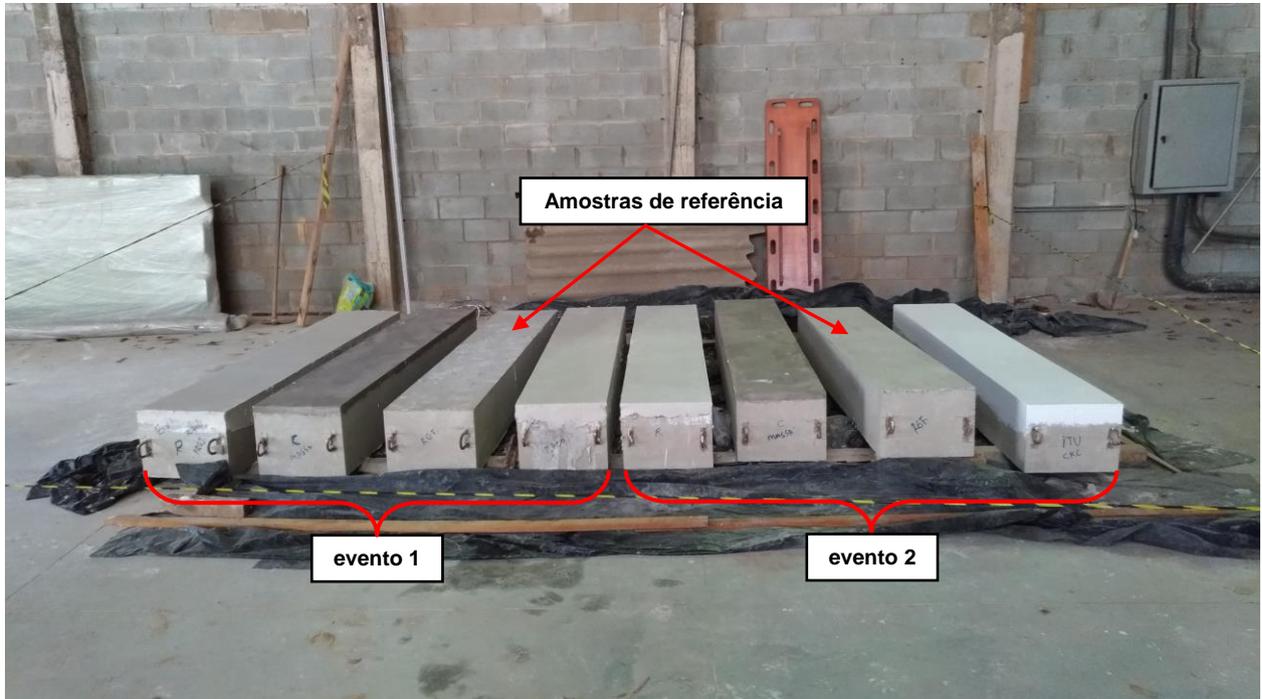


Figura 46 – Detalhe dos elementos finalizados com todos revestimentos aplicados, exceto nas duas amostras de referência.

Desde março de 2018 até o final de agosto de 2018, os elementos foram guardados (descobertos) no galpão do IPT nas condições da Figura 46, com o intuito de promover a maturidade e grau de hidratação suficientes dos revestimentos, como numa situação normal de obra. Ou seja, após seis meses (a partir de setembro de 2018), típico de uma situação de obra, já se poderia seguramente aplicar revestimentos finais de pintura, por exemplo, o que não é o caso desta pesquisa.

6.3 Detalhes dos ensaios de simulação de incêndio

Os ensaios propriamente ditos de simulação de incêndio foram realizados no forno do Laboratório de Segurança ao Fogo e Explosões do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, centro de excelência e tecnologia do Brasil e de referência nesse tipo de ensaio, cujas dimensões são compatíveis com o programa térmico planejado.

O forno utilizado no programa experimental possui um sistema com cinco queimadores a gás natural, dispostos nas duas paredes laterais e posicionados de modo que não haja encontro frontal entre eles. A câmara do forno utilizado no experimento, bem como o seu quadro de fechamento, pode ser observada na Figura 47.



Figura 47 – Detalhe do forno vertical do Laboratório de Segurança ao Fogo e Explosões do IPT.

6.3.1 Primeiro evento de ensaio (evento 1)

Na data de 20 de agosto de 2018, os quatro elementos referentes ao primeiro evento de ensaio (amostras: gesso formulado liso, referência, gesso projetado e argamassa) foram coletados por meio de empilhadeira, transportados até o Laboratório de Segurança ao Fogo e Explosões por um caminhão de pequeno porte de serviços internos do IPT e, posteriormente, descarregados (figuras 48 e 49). Este trajeto entre o local onde os elementos estavam sendo guardados e o forno do laboratório é de cerca de 400 m.



Figura 48 – Coleta das amostras com uso de empilhadeira no galpão coberto do IPT para transporte ao Laboratório de Segurança ao Fogo e Explosões.



Figura 49 – Descarga das amostras em frente ao Laboratório Segurança ao Fogo e Explosões do IPT.

No laboratório, a face não exposta ao fogo foi posicionada em uma parede refratária adaptada especialmente para a realização do experimento, por onde foi instalado o sétimo termopar (por elemento) e o sistema de aquisição de dados para monitoramento da distribuição e evolução de temperatura no interior da amostra.

Neste caso, esclarece-se que para a realização do ensaio de simulação de incêndio, houve a necessidade de conceber uma alvenaria de fechamento do forno, onde foram posicionados os elementos de concreto armado.

Essa alvenaria foi projetada e construída com blocos estruturais (com dimensões nominais de 19 cm x 19 cm x 39 cm) e meio blocos (com 19 cm x 19 cm x 19 cm) de concreto, vazados (classe B e f_{ck} de 4 MPa, de procedência da empresa Glasser), os quais foram preenchidos com graute, visando um isolamento térmico mais seguro. Além disso, a alvenaria foi revestida na parte interna com uma manta de fibra cerâmica tipo Durablanket com 96 kg/m³ e espessura de 50,8 mm, fornecida pela Unifrax, tornando-a “refratária” e resistente ao fogo.

A alvenaria de fechamento foi construída sobre um quadro de aço móvel com possibilidade de manobra através de um sistema de talha elétrica de cabos de aço, com capacidade de içamento de até 100 kN.

Os elementos foram dispostos nessa alvenaria sobre o quadro móvel e os espaços em suas faces laterais (frisos entre as amostras e a parede) foram preenchidos com a manta de fibra cerâmica já mencionada, visando a segurança e estanqueidade durante o procedimento de manobra, principalmente para desmobilização⁴ do elemento de concreto posteriormente ao ensaio de simulação de incêndio do evento 1. Os detalhes dessa alvenaria e do revestimento em manta de fibra cerâmica, bem como das respectivas amostras locadas, podem ser vistos na sequência das figuras 50 a 52.



Figura 50 – Detalhe da construção da alvenaria de fechamento do forno, especialmente projetada com blocos inteiros e meio blocos de concreto estrutural, vazados, e da locação de uma amostra como gabarito.



Figura 51 – Detalhe da alvenaria sendo construída (à esquerda) e já finalizada (à direita), com fechamento em tijolos na parte superior de cada elementos de concreto.

⁴ Nota-se que essa alvenaria foi projetada especialmente para os dois eventos de ensaio, de modo que os elementos pudessem ser facilmente removidos, aproveitando a alvenaria remanescente para a locação dos elementos do segundo evento de ensaio.



Figura 52 – Detalhe da parte interna da alvenaria, antes (à esquerda) e depois (à direita) da proteção com manta de fibra cerâmica tipo Durablanket com 96 kg/m^3 e espessura de $50,8 \text{ mm}$.

As amostras já posicionadas na alvenaria observadas pela parte que será posicionada na parte interior (câmara) do forno (precedente o fechamento do quadro) podem ser observadas na figura 53.



Figura 53 – Detalhe da face que será exposta ao fogo antes do fechamento do quadro no forno com indicação dos revestimentos (evento 1).

Os quatro elementos do primeiro evento de ensaio foram ensaiados de uma só vez, sem carregamento e basicamente com a exposição de uma face ao fogo (maior face com largura de 40 cm e altura de 2,40 m), a fim de avaliar bem a influência do revestimento sem qualquer interferência, o que propiciou ainda que a face posterior (onde os termopares estavam instalados) permanecesse de livre acesso durante o ensaio de simulação de incêndio.

Precedentemente ao ensaio, na data de 20 de agosto de 2018, após 11 meses da construção dos elementos, corpos de prova foram rompidos no laboratório da Engemix, unidade do Jaguaré em São Paulo, onde se apurou a resistência à compressão de 30,4 MPa, um crescimento de aproximadamente 18% com relação ao valor obtido aos 28 dias de idade.

Na data de 30 de agosto de 2018 ocorreu o primeiro evento de simulação de incêndio, sob a curva ISO 834, por um tempo de 120 minutos. Destaca-se que todo o evento de ensaio (evento 1) foi acompanhado integralmente pela equipe técnica especializada do IPT e por este pesquisador, e durante o ensaio propriamente dito pôde-se observar claramente que nos primeiros 40 minutos (Figura 54) houve uma delaminação evidente de parte do gesso projetado, restando ainda uma parte remanescente.

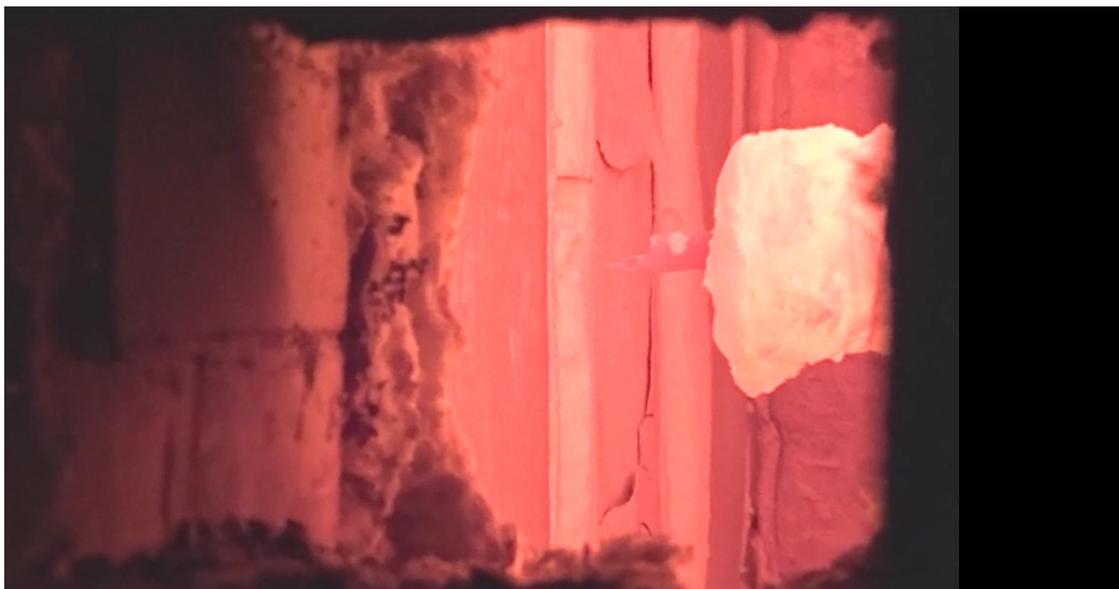


Figura 54 – Delaminação de parte do gesso projetado, aproximadamente aos 40 minutos de ensaio, no evento 1.

A máxima temperatura atingida no elemento de concreto sem revestimento (corpo de prova 3), aos 120 minutos de ensaio, foi de 553 °C, correspondente ao termopar de número 1 localizado na armadura próxima a face exposta ao fogo. Já as máximas temperaturas alcançadas nos elementos de concreto número 1 (revestido com argamassa cimentícia), número 2 (revestido com gesso projetado) e número 4 (revestido com gesso formulado) foram, respectivamente, de 198 °C (ponto 3), 283 °C e 206 °C, correspondentes às medidas dos termopares localizados no ponto 1. Por sua vez, as temperaturas médias nos termopares posicionados nas armaduras (pontos 1, 3 e 5) foram: 543 °C no elemento sem revestimento, 195 °C no elemento com argamassa cimentícia, 231 °C no elemento com gesso projetado e 186 °C no elemento com gesso formulado liso.

Após 24 horas do término de ensaio, o forno foi aberto para inspeção visual dos elementos. Foram observados deslocamentos/lascamentos superficiais distribuídos uniformemente na face exposta ao fogo do elemento sem revestimento, porém sem exposição das armaduras. Nos outros elementos foi verificada a queda parcial dos revestimentos e nenhum dano superficial no concreto das faces expostas ao fogo dos elementos; sendo que em todos os elementos revestidos, a base em chapisco (quer seja rolado em desempenado permaneceu aparentemente íntegra), conforme ilustra a Figura 55.



Figura 55 – Detalhe da condição dos elementos e revestimentos, após abertura do forno (evento 1).

A amostra de gesso formulado liso ainda possuía um revestimento remanescente quando da abertura do forno (sem quaisquer integridade e aderência), equivalente a 46% da área total do elemento com face exposta ao fogo. Para a amostra de argamassa, esse número foi de 41%.

Apurando-se cuidadosamente os elementos, com uso de um martelo de percussão, percebeu-se que os revestimentos remanescentes de gesso formulado liso manual e de argamassa estavam completamente friáveis e a parte ainda remanescente se deslocou quase que espontaneamente (com o mínimo esforço, praticamente com o manuseio da amostra), entretanto, os chapiscos aplicados como ponte de aderência estavam íntegros e intactos (Figura 56). Em outras palavras, o concreto estava totalmente íntegro e preservado nessas duas amostras, não apresentando quaisquer sinais de um material tipicamente friável.



Figura 56 – Detalhe do chapisco rolado e do chapisco desempenado, totalmente íntegros na amostra com revestimento de gesso formulado liso e argamassa industrializada base cimento.

Notadamente a amostra revestida com o gesso projetado estava ainda com parte do gesso aderida (em 100% da amostra), parcialmente íntegra e com pouco som cavo, apesar de apresentar características mais macias/fofas do que precedentemente ao ensaio de simulação de incêndio (Figura 57). Entretanto, não havia integridade suficiente para um ensaio de arrancamento pelos métodos tradicionais, pois a amostra poderia ser removida facilmente por raspagem mecânica. Em outras palavras, a camada remanescente estava funcionando somente como uma camada de sacrifício (barreira física) e com pouca aderência.



Figura 57 – Verificação de som cavo, com uso de martelo de percussão, e aferição da espessura remanescente do revestimento em gesso projetado, com uso de paquímetro digital.

Com uso de um paquímetro digital (Figura 58) aferiu-se que houve uma delaminação do gesso projetado com espessura da ordem de 5 mm e permaneceu remanescente na amostra de concreto uma espessura da ordem de 6 mm (desvio de 1 mm do revestimento original previsto de 10 mm).



Figura 58 – Detalhe da aferição, com uso de paquímetro digital, da parte de gesso projetado delaminada (da ordem de 5 mm), e da parte remanescente ainda aderida na amostra (da ordem de 6 mm).

Por sua vez, a amostra de referência também chamou atenção pela pouca quantidade e profundidade de *spalling*. O deslocamento correspondeu a uma área da ordem de 19% da amostra original numa profundidade típica (máxima) de cerca de 6 mm (aferida em diversos pontos), somente (Figura 59). Em outras palavras, não houve exposição da armadura (com cobertura mínimo de 15 mm). Na verdade, não houve exposição da armadura em nenhum elemento neste evento de ensaio.



Figura 59 – Detalhe do deslocamento típico em 19% da amostra, com profundidade aferida da ordem de 6 mm, com uso de paquímetro digital.

A evolução de temperaturas obtidas no interior das amostras confirmou as análises visuais e qualitativas do desempenho dos revestimentos contrafogo. Um dos resultados mais relevantes do programa térmico-experimental foi quanto à obtenção da distribuição da temperatura, em função do tempo de exposição ao fogo, no interior dos elementos de concreto armado revestidos.

Destaca-se que durante os 120 min (2 h) do ensaio de simulação de incêndio, oito termopares monitoraram a evolução da curva-padrão ISO 834 no interior do forno e outros vinte e oito termopares (sete por elemento) a distribuição de calor no elemento de concreto armado, sendo que todos esses dados levantados foram devidamente registrados a cada 5 minutos, tudo detalhado e tabulado no Relatório de Ensaio n. 1 104 956-203 (Anexo E).

Conforme observado na Figura 60, a distribuição de calor foi uniforme no interior da amostra, de acordo com a profundidade de cada termopar. Também se nota que os três termopares da amostra de referência na região do cobrimento se diferenciam muito do restante. Para facilitar a compreensão da distribuição da temperatura no interior de cada amostra, foram desenhadas as figuras 61 a 64, que serão comentadas adiante.

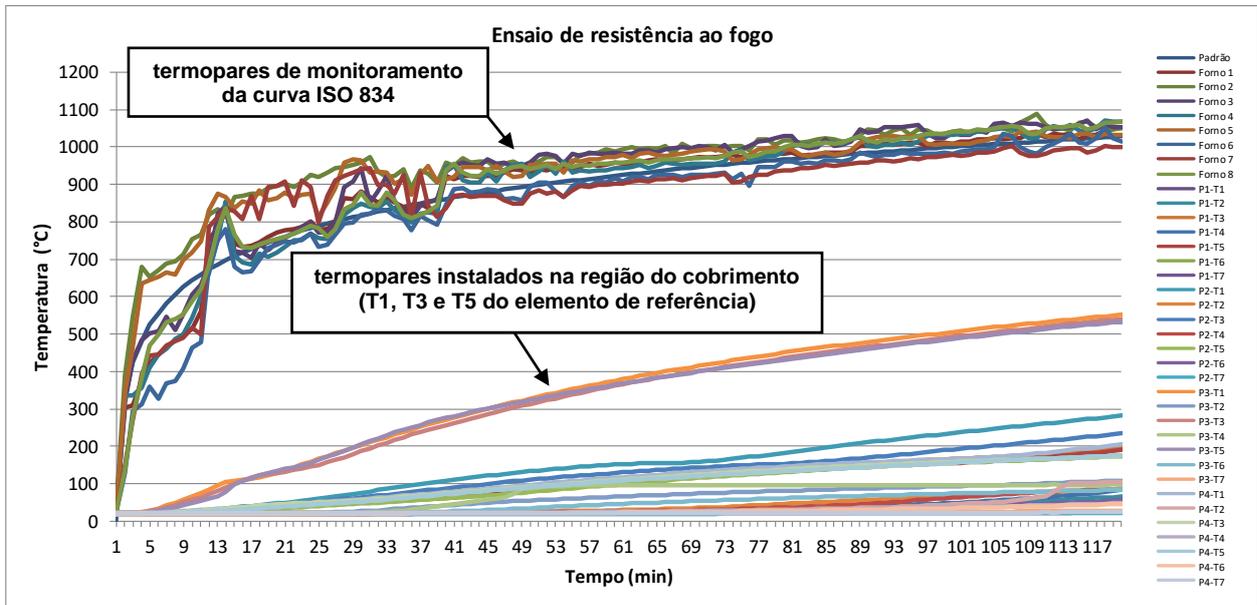


Figura 60 – Temperaturas obtidas no interior do forno e no interior dos elementos do evento 1.

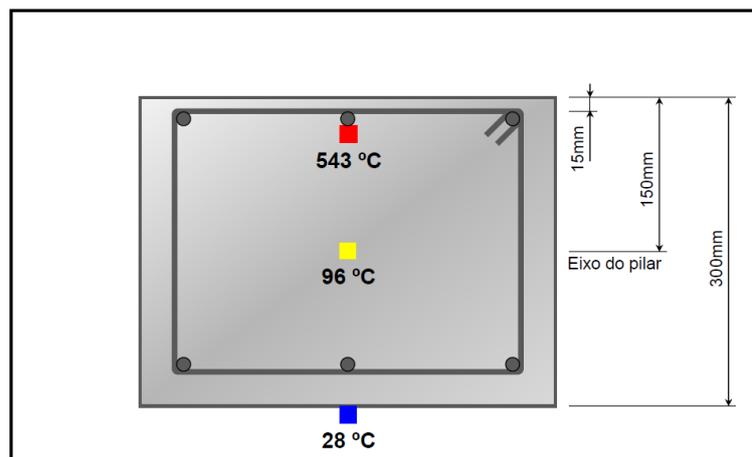


Figura 61 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra de referência.

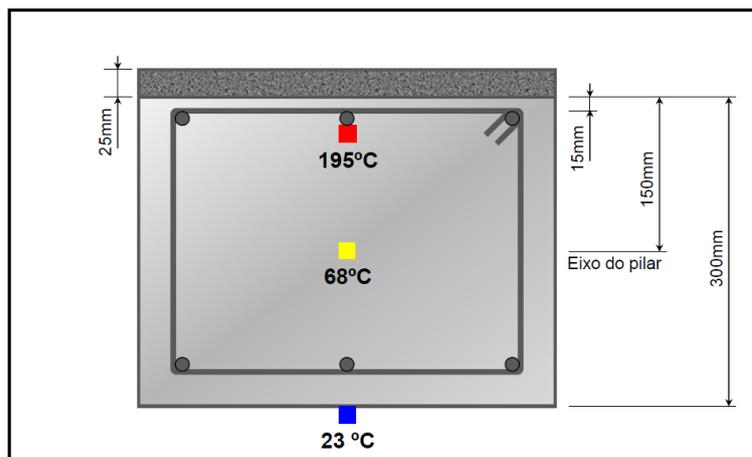


Figura 62 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra revestida com argamassa industrializada (espessura de 25 mm).

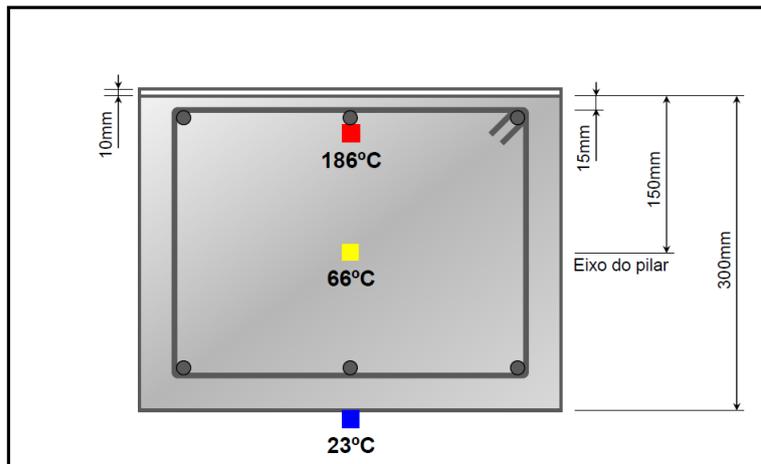


Figura 63 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra revestida com gesso formulado liso (espessura de 10 mm).

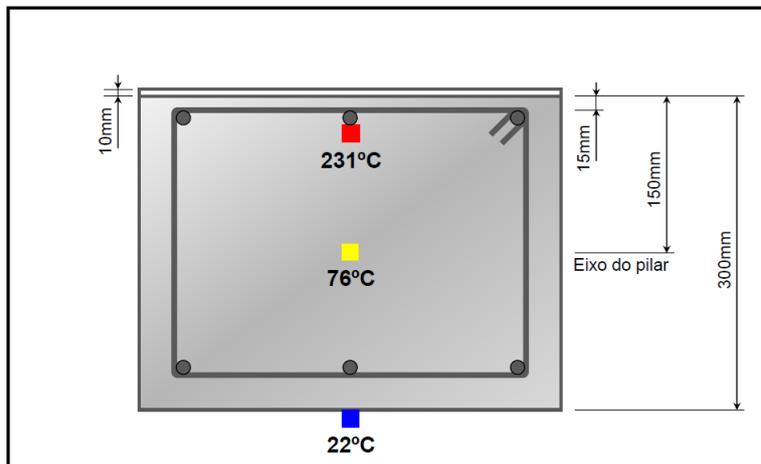


Figura 64 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra revestida com gesso projetado (espessura de 10 mm).

As observações e correlações referentes às temperaturas obtidas comparadas com as inspeções visuais, aferições e verificações de integridade (por meio de martelo de percussão), serão discutidas no capítulo adiante. A seguir será explanado o segundo evento de ensaio, realizado na semana subsequente ao primeiro evento de ensaio.

6.3.1 Segundo evento de ensaio (evento 2)

Na data de 31 de agosto de 2018, após as devidas verificações nos quatro elementos referentes ao primeiro evento de ensaio (amostras: gesso formulado liso, referência, gesso projetado e argamassa), os mesmos foram removidos com uso do sistema de ponte rolante e apoio de empilhadeira e novamente transportados ao galpão, onde os

outros quatro elementos referentes ao segundo evento de ensaio foram coletados ao laboratório e já locados na mesma alvenaria (como mencionado anteriormente, a alvenaria fora projetada e construída para ser aproveitada nos dois eventos de ensaio). Essas atividades podem ser observadas na sequência das figuras 65 a 70. Os elementos foram transportados de dois em dois (sendo duas viagens para levar os elementos ensaiados e outras duas para trazer os elementos a ensaiar).



Figura 65 – Remoção cuidadosa dos elementos do primeiro evento de ensaio.



Figura 66 – Elementos do primeiro evento de ensaio sendo transportados e já alocados no galpão do IPT.



Figura 67 – Detalhe da alvenaria preservada para o segundo evento de ensaio e das amostras do evento 2, ainda antes do transporte ao Laboratório de Segurança ao Fogo e Explosões.

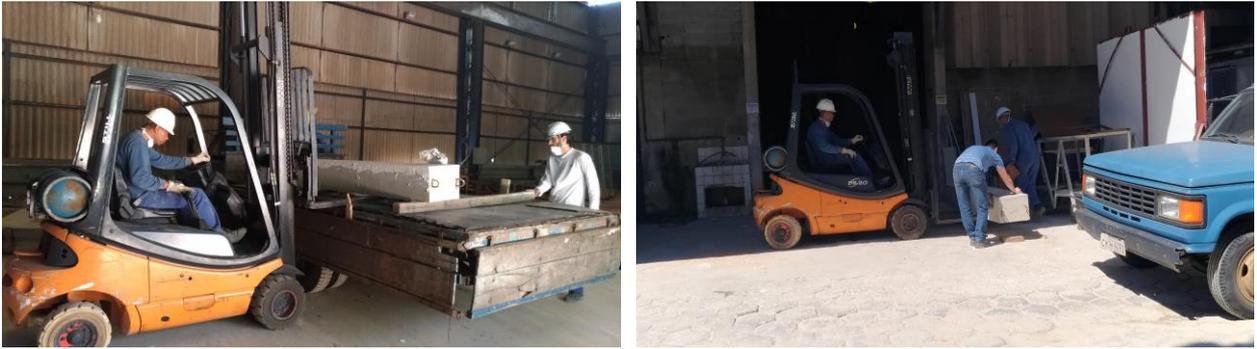


Figura 68 – Detalhe da coleta dos elementos no galpão do IPT e descarga dos mesmos no Laboratório de Segurança ao Fogo e Explosões, com uso de empilhadeira.

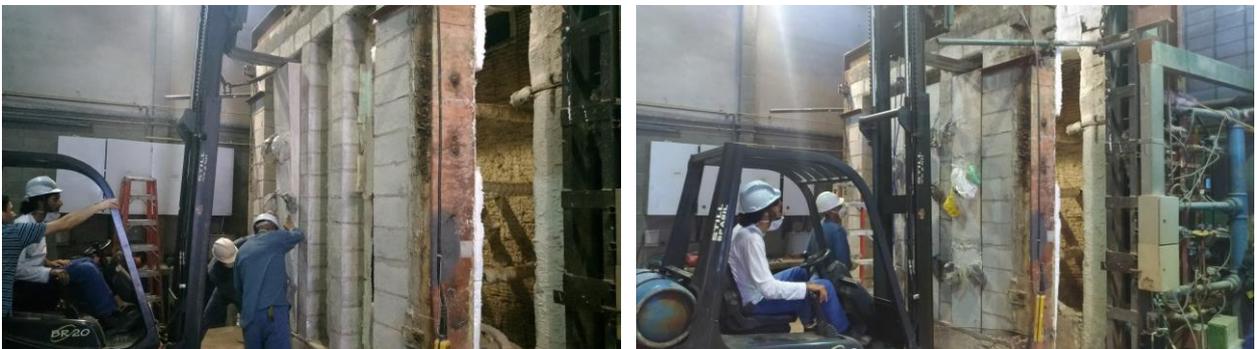


Figura 69 – Detalhe da locação dos elementos para o segundo evento de ensaio na alvenaria de fechamento do forno.



Figura 70 – Detalhe de todas as amostras já locadas na alvenaria de fechamento para o segundo evento de ensaio.

No laboratório, novamente, a face não exposta ao fogo foi posicionada na parede refratária adaptada especialmente para a realização do experimento, por onde foi instalado o sétimo termopar (por elemento) e o sistema de aquisição de dados para monitoramento da distribuição e evolução de temperatura no interior da amostra. A parede foi completamente mantida, somente o fechamento em tijolos no topo dos elementos foi refeito (região prevista para demolição para o engate do sistema da ponte rolante ser acoplado no gancho do elemento). Além disso, um novo revestimento de fibra cerâmica (tipo Durablanket com 96 kg/m^3 e espessura de $50,8 \text{ mm}$, fornecida pela Unifrax), somente onde necessário, foi procedido na parte interna da parede e nos frisos entre os elementos a própria parede.

As amostras já posicionadas na alvenaria, observadas pela parte interior (câmara) do forno (precedente o fechamento do quadro), podem ser observadas na Figura 71.



Figura 71 – Detalhe da face que será exposta ao fogo antes do fechamento do quadro no forno com indicação dos revestimentos (evento 2).

Os quatro elementos do segundo evento de ensaio também foram ensaiados de uma só vez, sem carregamento e basicamente com a exposição de uma face ao fogo (maior face com largura de 40 cm e altura de $2,40 \text{ m}$), a fim de avaliar bem a influência do revestimento sem qualquer interferência, o que propiciou ainda que a face posterior

(onde os termopares estavam instalados) permanecesse de livre acesso durante o ensaio de simulação de incêndio.

Na data de 05 de setembro de 2018 ocorreu o segundo evento de simulação de incêndio, sob a curva ISO 834 por um tempo de 120 minutos. Uma visão durante o ensaio por volta de 20 minutos pode ser observada na Figura 72.

Destaca-se que todo o evento de ensaio (evento 2) foi acompanhado integralmente pela equipe técnica especializada do IPT e por este pesquisador. Durante o ensaio propriamente dito pôde-se perceber claramente que houve um *spalling* mais severo, típico de um deslocamento explosivo, logo nos primeiros minutos (antes dos 20 minutos).

Através da janela de inspeção do forno, foi possível notar que essa ocorrência se deu no elemento revestido com gesso liso lento popular de mercado, comportamento esse bem distinto das observações constatadas no primeiro evento de ensaio. Aos 53 minutos de ensaio já se observou a queda de praticamente todo o revestimento de gesso desse elemento, levando consigo parte do concreto aderido.

Ainda, aos 6 minutos de ensaio, verificou-se o início da atuação da tinta intumescente (intumescência propriamente dita). Nesse período também se percebeu o início de pequenos lascamentos/deslocamentos superficiais do elemento de concreto sem revestimento (amostra de referência). Aos 20 minutos a tinta intumescente apresentava um aspecto de “elementos em brasa” com coloração mais escura e impressão de pequenos pontos incandescentes (Figura 72).



Figura 72 – Detalhe da aparência de “elementos em brasa” do elemento revestido com tinta intumescente (coloração escura à esquerda) e impressão de pequenos pontos incandescentes nesse mesmo elemento (à direita).

A máxima temperatura atingida no elemento de concreto sem revestimento (corpo de prova 3), aos 120 minutos de ensaio, foi de 557 °C, correspondente ao termopar de número 3 localizado na armadura próxima a face exposta ao fogo. Já as máximas temperaturas alcançadas nos elementos de concreto número 1 (revestido com argamassa cimentícia), número 2 (revestido com tinta intumescente) e número 4 (revestido com gesso liso lento popular de mercado) foram de, respectivamente, 255 °C, correspondente à medida do termopar localizado no ponto 3, 386 °C, correspondente à medida do termopar localizado no ponto 5 e 559 °C, correspondente à medida do termopar localizado no ponto 1. Por sua vez, as temperaturas médias nos termopares posicionados nas armaduras (pontos 1, 3 e 5) foram: 533 °C no elemento sem revestimento, 241°C no elemento com argamassa cimentícia, 359 °C no elemento com tinta intumescente e 487 °C no elemento com gesso liso lento popular de mercado.

Após 24 horas do término de ensaio, o forno foi aberto para inspeção visual dos elementos. Foram observados deslocamento/lascamentos superficiais distribuídos uniformemente na face exposta ao fogo do elemento sem revestimento, porém sem exposição das armaduras. No elemento revestido com gesso liso lento popular de mercado, observou-se um *spalling*/deslocamento de grandes proporções na parte superior e nenhum vestígio da ponte de aderência em chapisco (terracota). No elemento revestido com argamassa, percebeu-se a presença de todo o chapisco desempenado na base e queda de praticamente todo o revestimento propriamente dito. Finalmente, no elemento revestido com tinta intumescente, detectou-se a presença da mesma (expandida em cor branca, inicial) sem nenhum vestígio do concreto do elemento ou exposição da armadura, conforme Figura 73.



Figura 73 – Detalhe da condição dos elementos e revestimentos, após abertura do forno (evento 2).

Apurando-se cuidadosamente os elementos, com uso de um martelo de percussão, percebeu-se que na amostra revestida com gesso liso, além do deslocamento de grandes proporções, com exposição da armadura, havia uma camada friável sem nenhuma resistência em praticamente toda a área exposta ao fogo do elemento. Na amostra de referência, o material perceptível de superfície remanescente também estava totalmente friável em toda a área da amostra. Não obstante, o chapisco aplicado como ponte de aderência do elemento revestido com argamassa e a superfície de concreto do elemento revestido com tinta intumescente estavam íntegros e intactos (figuras 74 a 76). Em outras palavras, o concreto estava totalmente íntegro e preservado nessas duas amostras, não apresentando quaisquer sinais de um material tipicamente friável ou de armadura exposta.



Figura 74 – Detalhe do deslocamento de grandes proporções com exposição da armadura, na amostra revestida com gesso liso lento popular de mercado.



Figura 75 – Detalhe do deslocamento típico ocorrido na amostra de referência.



Figura 76 – Detalhe do chapisco íntegro na amostra com revestimento de argamassa e do elemento de concreto intacto (e também íntegro) após raspagem da tinta intumescente.

Com uso de uma trena, aferiu-se uma área de deslocamento (*spalling*) na amostra revestida com gesso liso lento de mercado, onde ocorreu a exposição da armadura, sendo a mesma de aproximadamente 20% da área total, lembrando que área remanescente estava friável em toda a superfície, muito semelhante com a amostra de referência, até em questões de profundidade de dano, sugerindo que o revestimento em gesso se deslocou bem antes do observado no evento 1. Ainda, de toda a armadura equivalente daquela face exposta ao fogo, passível de exposição, foi aferido que somente 6% foi de fato exposta.

Notadamente, a amostra revestida com tinta intumescente protegeu bem o elemento de concreto, sem nenhum indicativo de lascamento ou deslocamento. A superfície estava tão íntegra e bem-acabada que, caso fosse bem limpa, dificilmente poder-se-ia afirmar que a mesma fora submetida a um ensaio de simulação de incêndio. Não obstante, adiante serão discutidas as temperaturas internas aferidas em decorrência do evento.

Isto posto, com uso de um paquímetro digital, aferiu-se que houve um deslocamento severo na amostra revestida com gesso liso lento popular de mercado, da ordem de 19

mm a 27 mm (máximo) numa área de aproximadamente 20% da área total da amostra (cerca de 60 cm x 30 cm), como ilustra a Figura 77. Por sua vez, a parte friável remanescente possuía uma espessura da ordem de 2 mm a 3 mm (Figura 78), inferior à das amostras de referência de ambos os eventos, como será observado adiante.



Figura 77 – Detalhe da aferição da profundidade de deslocamento/*spalling* na amostra revestida com gesso liso lento de mercado (entre 19 mm e 27 mm).



Figura 78 – Detalhe do deslocamento no restante do elemento revestido com gesso liso lento de mercado (da ordem de 2 mm a 3 mm).

Por sua vez, a amostra de referência também chamou atenção pela pouca quantidade e profundidade de *spalling*. O deslocamento correspondeu a uma área da ordem de 40% da amostra original numa profundidade típica (máxima) de cerca de 7,5 mm (aferida em diversos pontos), somente (Figura 79), embora a amostra estivesse com 100% da área de exposição ao fogo friável nessa mesma profundidade aferida. Em outras palavras não houve exposição da armadura (com cobrimento mínimo de 15 mm). Na verdade, somente houve exposição da armadura no elemento com gesso liso lento popular de mercado neste segundo evento de ensaio (em particular com desempenho inferior até que a amostra de referência, sem revestimento).



Figura 79 – Detalhe das aferições do deslocamento entre 4,5 mm a 7,5 mm, na amostra de referência (sem revestimento).

Também foi aferida a expansão da tinta intumescente remanescente na amostra ao longo de toda a sua área exposta ao fogo. Neste caso, a mesma não possuía nenhuma aderência, sendo removida facilmente com uma espátula (manualmente). A partir da área raspada, foi possível aferir com um paquímetro uma expansibilidade de 110 mm a 112 mm, o que corresponde da ordem de 30 vezes a espessura aplicada originalmente de 390 micrometros seca (*DFT*), condizente com as especificações do fornecedor (Figura 80).



Figura 80 – Detalhe da raspagem da tinta intumescente e da aferição de sua expansibilidade após o ensaio de simulação de incêndio (da ordem de 120 mm).

A evolução de temperaturas obtidas no interior das amostras confirmou as análises visuais e qualitativas do desempenho dos revestimentos contrafogo. Um dos resultados mais relevantes do programa térmico-experimental foi quanto à obtenção da distribuição da temperatura, em função do tempo de exposição ao fogo, no interior dos elementos de concreto armado revestidos.

Como explanado no primeiro evento, destaca-se que durante os 120 min (2 h) do ensaio de simulação de incêndio, oito termopares monitoraram a evolução da curva-

padrão ISO 834 no interior do forno e outros vinte e oito termopares (sete por elemento) a distribuição de calor no elemento de concreto armado, sendo que todos esses dados levantados foram devidamente registrados a cada cinco minutos, tudo também detalhado e tabulado no Relatório de Ensaio n. 1 104 957-203 (Anexo E).

Conforme observado na Figura 81, a distribuição de calor foi uniforme no interior da amostra de acordo com a profundidade de cada termopar. Também se nota uma elevação substancial da temperatura nos três termopares da amostra de referência na região do revestimento, bem como nos três referentes à amostra revestida com gesso liso lento popular de mercado, a partir dos 53 min (realçado em vermelho), onde provavelmente houve o deslocamento total deste revestimento levando consigo parte do concreto aderido e expondo a armadura. Este comportamento se diferencia muito do apresentado pelo restante dos termopares. Para facilitar a compreensão da distribuição da temperatura no interior de cada amostra foram desenhadas as figuras 82 a 85, que serão comentadas logo adiante.

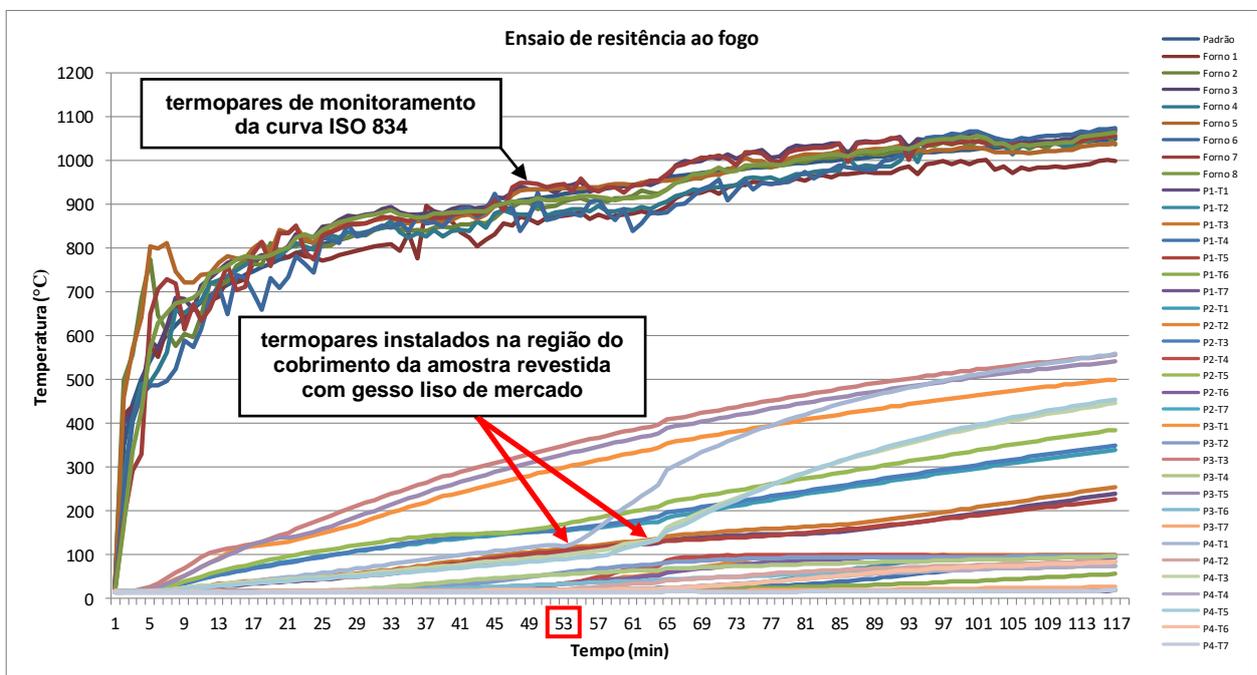


Figura 81 – Temperaturas obtidas no interior do forno e no interior dos elementos do evento 2.

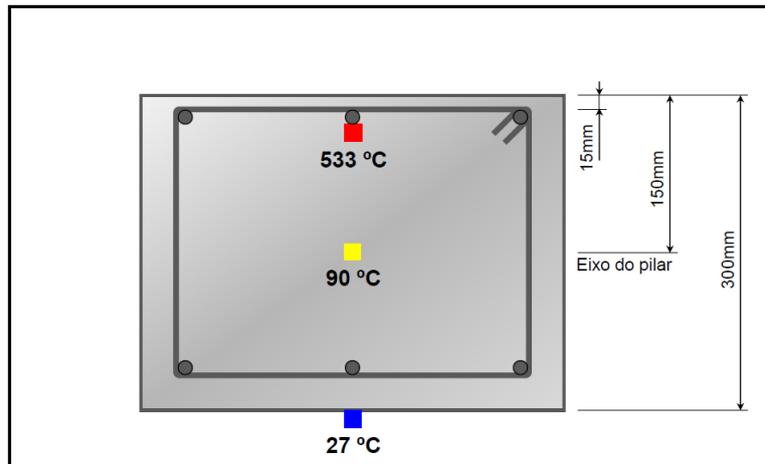


Figura 82 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra de referência.

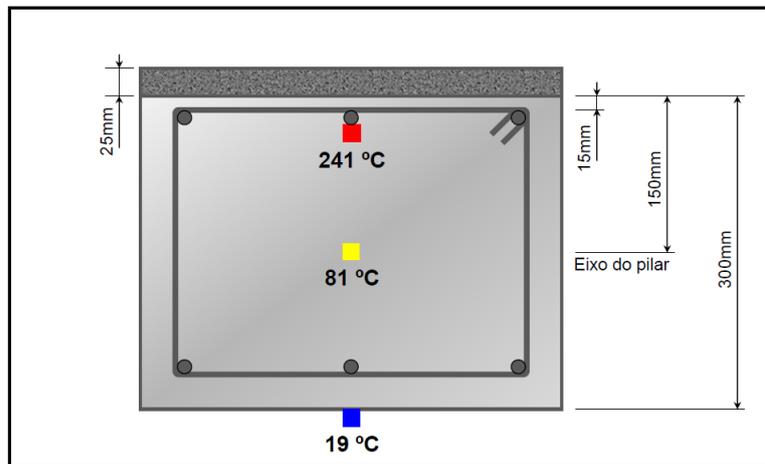


Figura 83 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra revestida com argamassa industrializada (espessura de 25 mm).

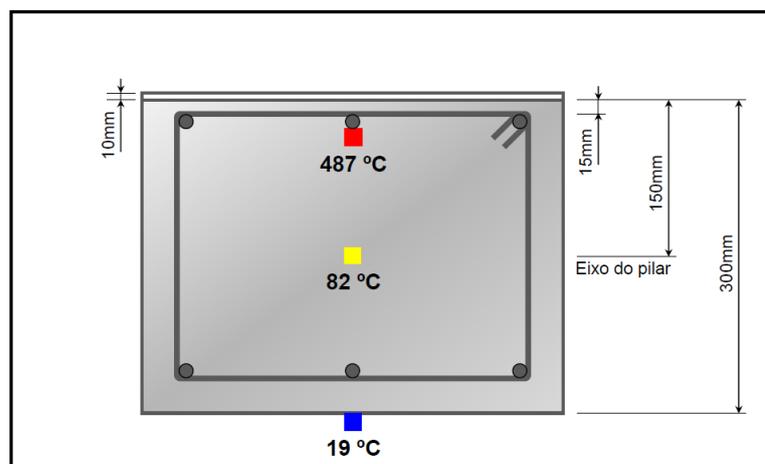


Figura 84 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra revestida com gesso liso lento popular de mercado (espessura de 10 mm).

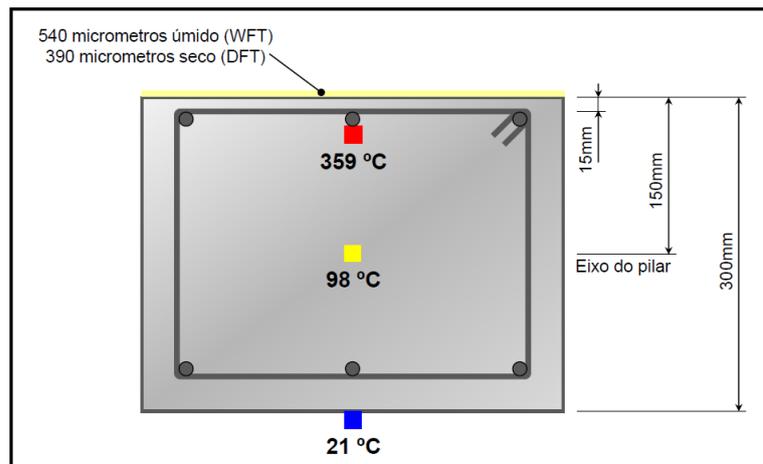


Figura 85 – Diagrama das temperaturas médias no instante de 120 minutos, amostra revestida com tinta intumescente [espessura de 540 micrometros (*WFT*) / 390 micrometros (*DFT*)].

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ENSAIOS COMPLEMENTARES

Constatações importantes podem ser extraídas deste estudo experimental, no que tange principalmente às análises e resultados obtidos posteriormente ao ensaio de simulação de incêndio, inclusive relacionando essas avaliações com as temperaturas aferidas nos termopares instalados no interior dos elementos em concreto armado. Inicialmente será procedida uma abordagem das amostras propriamente ditas e posteriormente de sua integridade e evolução de temperaturas internas, após os eventos de simulação de incêndio.

7.1 Geometria, armadura e idade avançada dos elementos ensaiados

Precedentemente a qualquer análise, é fundamental comentar que, assim como já observado em Brites (2011), nota-se que a geometria, o tamanho da seção transversal, bem como a taxa e configuração das armaduras dos elementos parecem ter influenciado de maneira positiva no desempenho térmico e no comportamento do concreto exposto ao fogo, inclusive na questão dos deslocamentos, independentemente do revestimento aplicado (fato este comprovado pelos dois elementos sem revestimento, amostras de referência por evento de ensaio).

Desde o planejamento do estudo experimental, o elemento de concreto, embora ensaiado sem carregamento, foi pensado e dimensionado (armado) pela ABNT NBR 6118:2014 como um pilar com seção mínima para suportar esforços de uma edificação de padrão residencial (ocupação residencial conforme ABNT NBR 14432:2001) de 20 pavimentos (da ordem de 60 metros de altura / $h > 30\text{m}$ / ABNT NBR 14432:2001) e atender um TRRF de 120 minutos (método tabular, ABNT NBR 15200:2012). Portanto, trata-se de um elemento representativo e bem razoável do ponto de vista de contexto para uma edificação real. Evidentemente que, no método tabular da ABNT NBR 15200:2012 (vigente), o parâmetro c_1 estaria não conforme, mas fora construído propositadamente de forma incorreta (premissa do programa experimental).

Dessa forma, como já constatado em Britez (2011), nota-se que a geometria, bem como o tamanho mínimo da seção transversal e a configuração e taxa de armadura podem ser mais relevantes, em princípio, de que a espessura de cobrimento e classe de resistência do concreto, no que tange danos causados por deslocamento (*spalling*), com as ressalvas da particularidade para cada projeto e, respectivamente, para cada condição de ensaio. Portanto, observa-se que cada projeto, cada amostra e cada condição de ensaio podem possuir peculiaridades intrínsecas, e não conduzir exatamente às mesmas impressões obtidas nesse estudo experimental.

Outro fator determinante ao contexto é a questão relacionada com a idade avançada dos elementos em concreto armado ensaiados, de aproximadamente um ano. Neste estudo experimental, esse fator mostrou-se bem favorável. Observa-se, ainda, que o concreto é um material mutável, com reações químicas temporais de hidratação do cimento *Portland* e, do ponto de vista de resistência ao fogo, pode não possuir maturidade suficiente para um estudo experimental deste tipo nos primeiros meses. A diferença do comportamento de uma amostra com dois meses de idade e outra com um ano pode ser muito significativa como já discutido em Morita *et al.* (2002). O ideal é que ensaios experimentais de simulação de incêndio em elementos de concreto, do tipo deste estudo, sejam realizados em amostras com no mínimo um ano de idade, com maturidade, teor de umidade e grau de hidratação mais compatíveis com as do concreto de edificações existentes e em pleno uso.

7.2 Integridade das amostras (concreto e revestimentos) e temperaturas internas aferidas

Em geral, pode-se afirmar que se obteve em todos os elementos, exceto na amostra com gesso liso popular de mercado (a qual será analisada separadamente por meio de exames complementares), um bom desempenho quando expostos ao fogo por 120 min (2 h), com o concreto mantendo praticamente sua integridade original nos elementos revestidos e com danos inferiores a 7,5 mm de profundidade de deslocamento nas amostras de referência, para um revestimento de somente 15 mm (não expondo a armadura).

Nessas amostras de referência, apesar de um deslocamento inicial aferido entre 19% e 40% da área total da amostra (vide figuras 55 e 73), para as amostras do primeiro e segundo evento respectivamente, após inspeção por meio de martelo de percussão, pode-se afirmar seguramente que 100% da área de exposição ao fogo estava completamente friável nessa mesma profundidade, ou seja, em termos de integridade, poder-se ia considerar da ordem de 6 mm de profundidade de dano na amostra de referência do primeiro evento e da ordem de 7,5 mm do segundo evento, valores esses considerados irrelevantes frente às 2 h de ensaio, sob a curva ISO 834.

Ainda, sobre as temperaturas aferidas, tem-se muita similaridade entre os dois eventos de ensaio, como se pode observar nas figuras 61 e 82 (no máximo 10 °C de diferença). Nesse caso, na média dos dois eventos de ensaio, pode se afirmar que 15 mm de espessura de revestimento de concreto (sem quaisquer proteções ou revestimentos) foi suficiente para registrar uma temperatura inferior a 550 °C (em média 538 °C), para uma temperatura de praticamente 1000 °C dentro do forno em 120 minutos de ensaio. Ou seja, o revestimento de 15 mm impediu um aumento de temperatura da ordem de 450 °C, em relação à simulação de incêndio, sem qualquer exposição de armadura para um deslocamento máximo de 7,5 mm com o restante do revestimento (da ordem de 50%) ainda bastante íntegro.

As tabelas 2 e 3, dispostas a seguir, resumem as informações constantes nas figuras 61 a 64, e auxiliam na análise de eficiência de cada tipo de revestimento quanto à eficiência em restringir o aumento de temperatura.

Tabela 2 – Temperatura média (°C) nos termopares 1, 3 e 5, posicionados na armadura (região do cobrimento), aos 120 min de ensaio.

Evento de ensaio	Amostra	Temperatura média (°C)
Evento 1	Referência (sem revestimento)	543
	Revestida com argamassa industrializada base cimento (25mm)	195
	Revestida com gesso formulado liso (10mm)	186
	Revestida com gesso projetado (10mm)	231
Evento 2	Referência (sem revestimento)	533
	Revestida com argamassa industrializada base cimento (25mm)	241
	Revestida com tinta intumescente (540 micrometros WFT / 390 micrometros DFT)	359
	Revestida com gesso liso lento popular de mercado (10mm)	487

Tabela 3 – Comparativo de eficiência de cada tipo de revestimento em restringir o aumento da temperatura média nos termopares 1, 3 e 5, posicionados na armadura (região do cobrimento), aos 120 min de ensaio (com relação ao elemento de referência).

Evento de ensaio	Amostras em comparação	Temperatura média (°C)	Diferença	Isolamento
Evento 1	Referência (sem revestimento)	543	348	64%
	Revestida com argamassa industrializada base cimento (25mm)	195		
	Referência (sem revestimento)	543	357	66%
	Revestida com gesso formulado liso (10mm)	186		
	Referência (sem revestimento)	543	312	57%
Revestida com gesso projetado (10mm)	231			
Evento 2	Referência (sem revestimento)	533	292	55%
	Revestida com argamassa industrializada base cimento (25mm)	241		
	Referência (sem revestimento)	533	174	33%
	Revestida com tinta intumescente (540 micrometros WFT / 390 micrometros DFT)	359		
	Referência (sem revestimento)	533	46	9%
	Revestida com gesso liso lento popular de mercado (10mm)	487		

Especificamente sobre os revestimentos com argamassa, nota-se que, provavelmente, até pelas temperaturas obtidas, os mesmos se desprenderam do chapisco de base bem no final ou até mesmo após o término do ensaio, durante o resfriamento natural (o forno foi aberto aproximadamente 24 horas após o término do ensaio). Fato interessante é que o chapisco desempenado aplicado diretamente sobre o elemento de concreto (com desempenadeira dentada de 8 mm x 8 mm) estava completamente aderido e intacto, proporcionando um concreto absolutamente íntegro nas duas amostras revestidas com esse sistema. Neste contexto, os 2,5 cm de espessura revestimento de argamassa funcionaram bem como uma camada de sacrifício durante os dois eventos de ensaio.

As temperaturas aferidas no interior da amostra corroboram essas considerações. Nos gráficos das figuras 60 e 81 observa-se uma linearidade na evolução dos valores aferidos de temperatura, o que condiz com uma transmissão de calor sem interferência, ou seja, sem deslocamentos durante o evento de ensaio (considerando até os revestimentos nesse caso). Um comportamento anômalo, por exemplo, um pico ou uma taxa de crescimento descontínua da temperatura, poderia indicar um deslocamento localizado ou até a exposição da armadura (que aumentaria sobremaneira os valores de temperatura aferidos, com uma taxa bem mais rápida de aquecimento comparada à do concreto, pela diferença significativa da condutividade térmica desses dois materiais).

Ainda, especificamente nos casos dos revestimentos com argamassa, no primeiro evento a espessura de 2,5 cm foi suficiente para impedir um valor médio de 348 °C (temperatura aferida no termopar de 195 °C em média), aferido aos 120 minutos (final do ensaio), quando esse elemento é comparado diretamente com a amostra de referência. No segundo evento esse valor foi de 292 °C (temperatura aferida no termopar de 241 °C em média). Considerando a média dos valores do primeiro e segundo evento tem-se que o revestimento de argamassa “absorveu” uma temperatura da ordem de 320 °C. Em outras palavras, praticamente restringiu 60% da temperatura potencial à que a barra de aço longitudinal (onde o termopar de aferição estava instalado na região do cobrimento) poderia estar submetida (sem revestimento).

No caso da tinta intumescente, pôde-se perceber que a mesma rapidamente entrou na intumescência propriamente dita nos primeiros minutos do evento de ensaio, fato até esperado em função da ação desse tipo de reação química expansiva se iniciar aproximadamente em 200 °C (a curva ISO 834 alcança da ordem de 550 °C nos primeiros cinco minutos). O mais surpreendente nesse caso é que somente a espessura de aplicação de 390 micrometros (três demãos / *DFT*) foi suficiente para garantir a completa integridade do elemento estrutural, preservando totalmente a superfície original da amostra (vide Figura 76). Apesar da impressão de “elemento em brasa” e sinais de incandescência, não houve comprometimento em 100% da área exposta ao fogo. Não obstante, as temperaturas internas aferidas nesses elementos serão discutidas a seguir e comparadas com as demais (dos outros elementos).

Especificamente no caso do revestimento com tinta intumescente, as três demãos (em espessura de 540 micrometros *WFT* / 390 micrometros *DFT*) foram suficientes para impedir um valor de 174 °C (temperatura aferida no termopar de 359 °C em média), aferido aos 120 minutos (final do ensaio), quando esse elemento é comparado diretamente com a amostra de referência. A eficiência desse revestimento para impedir o aumento da temperatura, quando comparado ao revestimento de argamassa do evento 1, foi da ordem de 50%, o que leva a crer que seria realmente necessária uma camada de tinta superior à aplicada inicialmente para melhor isolar a temperatura, como será explanado mais adiante. Ainda, esse tipo de revestimento, nas condições aplicadas (três demãos), restringiu aproximadamente 33% da temperatura potencial que a barra de aço longitudinal (onde o termopar de aferição estava instalado na região do cobrimento) poderia estar submetida (sem revestimento).

O que realmente chamou atenção no estudo e motivou ensaios e exames químicos complementares foram as análises da integridade das amostras revestidas com gesso. Lembra-se que no primeiro evento foram usados dois sistemas/produtos de procedência da Placo/Saint-Gobain [gesso formulado liso (M30) e gesso projetado (P80)] e, no segundo evento, um gesso liso lento popular de mercado (não identificada a procedência nessa pesquisa por questões éticas).

No primeiro evento, constatou-se que o gesso formulado liso aplicado com desempenadeira de aço preservou totalmente a integridade do elemento de concreto, inclusive com sinais evidentes e claros da base de chapisco rolado ainda aderida na cor terracota (vide figuras 55 e 56). Nesse caso presume-se que ocorreu o mesmo efeito dos revestimentos com argamassa, ou seja, o mesmo se desprendeu bem no final ou até após o término do ensaio, durante o resfriamento natural (o forno foi aberto aproximadamente 24 horas após o término do ensaio), proporcionando um concreto absolutamente íntegro na amostra revestida com esse sistema. Neste contexto, somente 1,0 cm de espessura de revestimento do gesso formulado liso funcionou bem como uma camada de sacrifício.

Nesse evento, as temperaturas registradas foram bem similares com o revestimento em argamassa, pois se aferiu 186 °C (gesso formulado liso) para 195 °C (argamassa), o que condiz com a premissa da pesquisa de 250% de eficiência do revestimento de

gesso em relação ao revestimento de argamassa, lembrando que a relação de espessuras era propositadamente 2,5 cm de argamassa para 1,0 cm de gesso (2,5:1). Somente 1,0 cm de gesso formulado liso foi suficiente para impedir um valor de 357 °C (temperatura aferida no termopar de 186 °C em média), aferido aos 120 minutos (final do ensaio), quando esse elemento é comparado diretamente com a amostra de referência do primeiro evento. Em outras palavras também restringiu 66% da temperatura potencial à que a barra de aço longitudinal (onde o termopar de aferição estava instalado na região do cobrimento) poderia estar submetida (sem revestimento).

Por sua vez, neste mesmo evento, o gesso projetado apresentou uma delaminação da ordem de 50% de sua espessura, conforme constatações do item precedente. Isso também preservou bastante a integridade da amostra de concreto, que ainda ficou protegida por aproximadamente 6 mm de gesso (vide Figura 58). Por outro lado, esse gesso remanescente possuía pouca aderência e estava com som cavo e superfície macia/fofa quando submetida aos ensaios de percussão com martelo de aço. Isso leva a crer, até pelas temperaturas internas, que a delaminação ocorreu de fato durante o ensaio de simulação de incêndio (pelas inspeções realizadas, entre 30 a 40 minutos do início do ensaio). Ou seja, por um período de 80 a 90 minutos de ensaio, esse elemento fora protegido somente por 6 mm de espessura de gesso projetado. Uma das hipóteses aventadas é que o método de aplicação (projeção) pode ter criado um ponto fraco entre a primeira e segunda demão projetada, sendo que a primeira estava bem mais aderida (quando comparada com a amostra aplicada com desempenadeira, em função exatamente da projeção). Essa hipótese é de complexa comprovação e depende do aplicador e do tempo de abertura da mistura, por exemplo.

É bem interessante comparar as considerações supramencionadas com os valores registrados de temperaturas. Apesar de uma espessura de gesso remanescente após a finalização do ensaio, as temperaturas internas foram um pouco superiores quando comparadas à amostra de gesso formulado liso, o que leva a crer que houve mesmo uma delaminação durante o ensaio e que uma espessura menor funcionou como camada de sacrifício (por um período da ordem de 80 a 90 minutos, no final do ensaio). Registrou-se, aos 120 minutos de ensaio, em média, 231 °C no elemento revestido em gesso projetado, temperatura aproximadamente 25% maior quando comparado com o gesso formulado liso (186 °C aos 120 minutos). Lembra-se que são materiais de

mesma natureza, inclusive com composição química, mineralógica e térmica bem similares (como será comprovado adiante nos exames complementares), o que corrobora a delaminação mais precoce no gesso projetado e a preservação do gesso formulado liso durante todo o primeiro evento de ensaio (desprendimento somente após o resfriamento do forno).

Mesmo assim, somente 1,0 cm de gesso projetado foi suficiente para impedir um valor de 312 °C (temperatura média aferida no termopar de 231 °C), aferido aos 120 minutos (final do ensaio), quando esse elemento é comparado diretamente com a amostra de referência do primeiro evento. Em outras palavras, praticamente restringiu 57% da temperatura potencial à que a barra de aço longitudinal (onde o termopar de aferição estava instalado na região do revestimento) poderia estar submetida (sem revestimento).

Especificamente sobre o revestimento em gesso liso lento popular de mercado, aplicado no segundo evento de ensaio, com os mesmos procedimentos do gesso formulado liso do primeiro evento, nota-se que houve uma significativa diferença nos resultados obtidos, representada por um deslocamento expressivo (*spalling* severo) do concreto, inclusive com exposição de armadura. Observa-se que essa foi a única amostra onde houve exposição da armadura, das oito ensaiadas nos dois eventos distintos de ensaio [inclusive, destaca-se que não houve *spalling* nem nas amostras sem revestimento (de referência)].

O deslocamento observado foi de uma área aproximada de 60 cm x 30 cm, com profundidade máxima de 27 mm, o que já foi suficiente para expor a armadura, com revestimento de 15 mm. Não obstante, da área total de armadura passível de exposição, somente 6% foi realmente exposta.

Com base nas temperaturas monitoradas, acredita-se que o deslocamento de maior proporção ocorreu entre 40 e 50 minutos do evento, uma vez que o comportamento da evolução das temperaturas internas dos termopares situados na região do revestimento se alterou de forma drástica a partir de aproximadamente 55 minutos (vide gráfico da Figura 81).

O comportamento até os 55 minutos estava bastante similar com as amostras de gesso do primeiro evento de ensaio. A partir desse instante, houve uma mudança repentina

na taxa de aquecimento interna, registrada principalmente pelo termopar 1 (Tabela 3 do Anexo E, relatório IPT n. 1 104957-203) e posteriormente nos outros termopares, o que leva a crer que já havia ocorrido o deslocamento, com exposição de armadura e uma mudança nos registros, em função da condutividade térmica do aço (lembra-se que a primeira linha de termopares estava fixada na armadura longitudinal limítrofe do revestimento). A temperatura média aferida nos três termopares foi de 487 °C, com máxima de 559 °C, ou seja, praticamente a mesma temperatura das amostras de referência, que apresentaram picos de 553 °C e 557 °C nos dois eventos de ensaio, respectivamente. Em outras palavras o revestimento de gesso liso lento popular de mercado não foi suficiente para impedir nenhum ingresso de temperatura no elemento de concreto, apresentando comportamento até pior que o das amostras de referência, que não expuseram suas armaduras; fato comprovado pelo pico de temperatura aferido (levemente superior aos os picos das amostras de referência).

Como todo o estudo experimental foi planejado para haver a menor quantidade de variáveis possíveis [elementos construídos na mesma oportunidade, com o mesmo concreto, procedimentos e mão de obra; mesmo profissional aplicando os revestimentos de gesso desempenado (formulado liso e liso lento popular de mercado, independentemente da procedência) nos elementos, ensaios de simulação de incêndio em mesmas condições etc.], presumiu-se que o agente causador do comportamento anômalo poderia estar de fato relacionado exclusivamente com o material aplicado (gesso liso lento popular de mercado).

Isto posto, após a consulta a diversos especialistas na área de gesso e materiais de construção civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT, decidiu-se pela elaboração e realização de um plano de ensaios e exames químicos e térmicos complementares nas três amostras envolvidas no estudo experimental: gesso formulado liso M30 e gesso projetado P80 (ambos de procedência da Placo/Saint-Gobain) e gesso liso lento popular de mercado (não identificada a procedência e marca nesta pesquisa).

Amostras do mesmo lote dos gessos supramencionados no estudo experimental foram coletadas e separadas, a fim de se identificar qualquer alteração, impureza ou material estranho. Com apoio irrestrito e incondicional da Prof^a. Dr^a. Maria Alba Cincotto

(EPUSP) na orientação do plano de ensaios complementares, o Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras / IPT, sob liderança do Eng. Químico Sérgio Soares de Lima e do Prof. Dr. Valdecir Angelo Quarcioni, expoentes na área, procedeu com os exames complementares, que envolveram ensaios de perda ao fogo, análise química semiquantitativa por fluorescência de raios-X (FRX), análise termogravimétrica (TG/DTG): “análise térmica diferencial e termogravimétrica simultânea” e análise mineralógica quantitativa por difratometria de raios-X. Todos os detalhes desses ensaios, inclusive normas e procedimentos podem ser consultados no Anexo F deste relatório científico.

Os resultados da análise química semiquantitativa por fluorescência de raios-X já indicaram uma diferença significativa em “Perda ao Fogo” e “Anidrido Sulfúrico” como pode ser observado na Tabela 4 (reproduzida do relatório do IPT, disponível para consulta no Anexo F).

Tabela 4 – Resultados da análise química semiquantitativa por fluorescência de raios-X.

Determinações	Resultados, em %		
	Amostra de gesso – Lento – Liso (LMCC N.º 3467-18)	Amostra de gesso – P80 – Projetado (LMCC N.º 3468-18)	Amostra de gesso – M30 – Liso (LMCC N.º 3469-18)
Perda ao fogo (PF)	20,9	9,5	9,5
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	39,8	51,8	53,7
Óxido de cálcio (CaO)	32,5	32,2	31,2
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	2,3	1,7	0,8
Óxido de magnésio (MgO)	2,2	0,1	0,2
Anidrido silícico (SiO ₂)	1,9	3,6	3,4
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,2	0,2	0,5
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0,1	0,2	0,2
Óxido de estrôncio (SrO)	0,1	0,1	0,2
Óxido de potássio (K ₂ O)	n.d.	0,4	0,4

Na amostra do gesso liso popular de mercado, o valor obtido de perda ao fogo diferiu 120% e o anidrido sulfúrico da ordem de 35% com relação às amostras de procedência da Placo/Saint-Gobain que, por sua vez, foram bastante similares. No caso do anidrido sulfúrico, nota-se que o valor obtido no ensaio está ainda 25% abaixo do limite requerido da normalização vigente ABNT NBR 13207:2017 – Gesso para construção civil – Requisitos, ou seja, a amostra comercializada não segue os limites normativos prescritos.

Concomitantemente foram realizadas análises termogravimétricas (TG/DTG) (análise térmica diferencial e termogravimétrica simultânea) para identificar as perdas de massa, onde os valores de perda ao fogo foram confirmados com diferenças mínimas das obtidas nas análises químicas semiquantitativas por fluorescência de raios-X, como pode ser observado nas tabelas 5 a 7 (reproduzidas do relatório IPT, disponível para consulta no Anexo F) e nas curvas TG/DTG das figuras 86 a 88.

Tabela 5 – Perdas de massa a partir das curvas TG/DTG, amostra de gesso formulado liso.

Material (LMCC)	Perdas e massa em função da faixa de temperatura						Perda total (%)
	°C	28-78	78-253	253-300	300-934	934-1000	
Amostra de gesso – M30 – Lento (LMCC N°. 3469-18)	°C						8,63
	%	1,60	5,15	1,61	1,58	0,27	
Interpretação das perdas de massa em função da faixa de temperatura: <ul style="list-style-type: none"> • de 28 – 78°C: início da perda de água livre; • de 78 – 253°C: final da perda de água livre e água de adsorção; • de 253 – 300°C: ganho de massa provável oxidação de elementos metálicos presentes na Ankerita (Tabela 5); • de 300 – 934°C: descarbonatação de fases carbonatadas; • de 934 – 1000°C: provável início da perda de enxofre. 							

Tabela 6 – Perdas de massa a partir das curvas TG/DTG, amostra de gesso projetado.

Material (LMCC)	Perdas e massa em função da faixa de temperatura					Perda total (%)
	°C	28-82	82-211	211-934	934-1000	
Amostra de gesso – P80 – Projetado (LMCC N°. 3468-18)	°C					8,70
	%	1,60	5,15	1,61	0,34	
Interpretação das perdas de massa em função da faixa de temperatura: <ul style="list-style-type: none"> • de 23 – 82°C: início da perda de água livre; • de 82 – 211°C: final da perda de água livre e água de adsorção; • de 211 – 934°C: descarbonatação de fases carbonatadas; • de 934 – 1000°C: provável início da perda de enxofre. 						

Tabela 7 – Perdas de massa a partir das curvas TG/DTG, amostra de gesso liso lento popular de mercado.

Material (LMCC)	Perdas e massa em função da faixa de temperatura			Perda total (%)
	°C	28-69	69-168	
Amostra de gesso – Liso – Mercado (LMCC N°. 3467-18)	°C			20,0
	%	0,73	3,46	
Interpretação das perdas de massa em função da faixa de temperatura: <ul style="list-style-type: none"> • de 23 – 69°C: início da perda de água livre; • de 69 – 168°C: final da perda de água livre e água de adsorção; • de 168 – 1000°C: descarbonatação das fases carbonatadas. 				

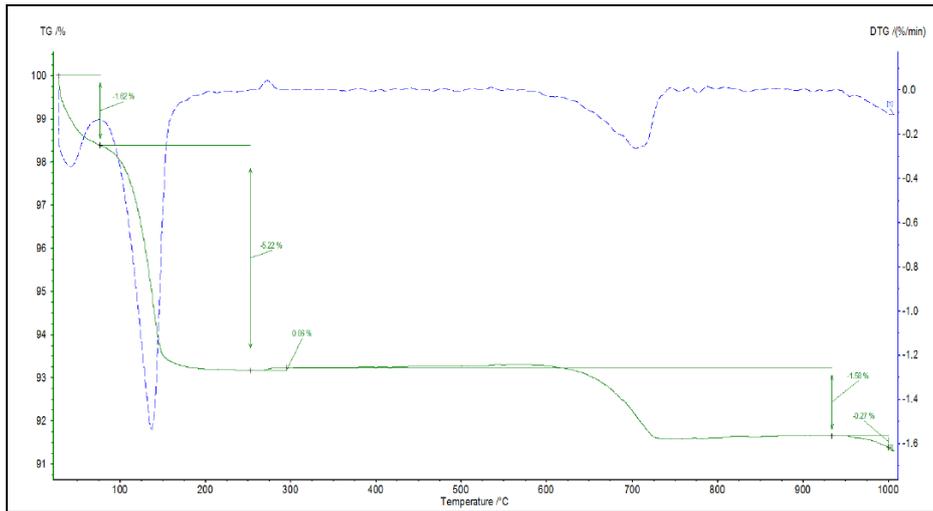


Figura 86 – Curvas TG/DTG da amostra de gesso formulado liso (procedência: Placo/Saint-Gobain).

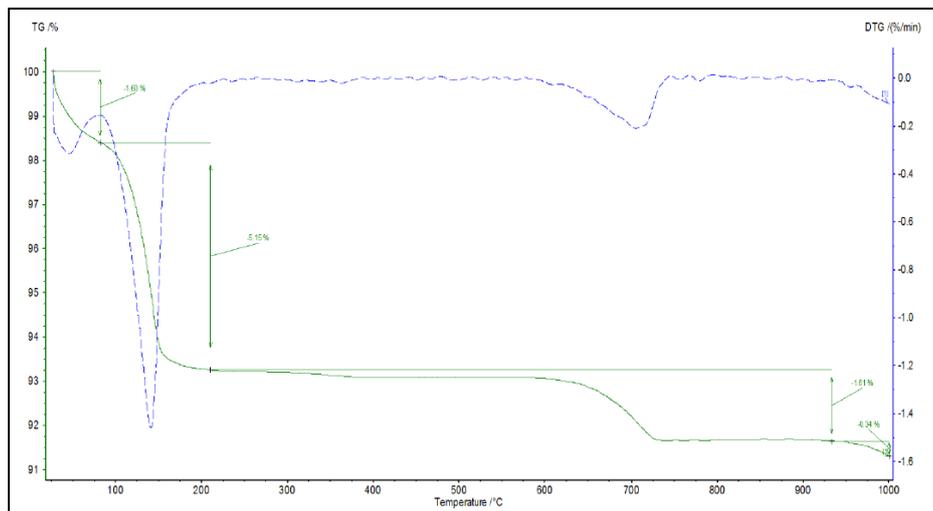


Figura 87 – Curvas TG/DTG da amostra de gesso projetado (procedência: Placo/Saint-Gobain).

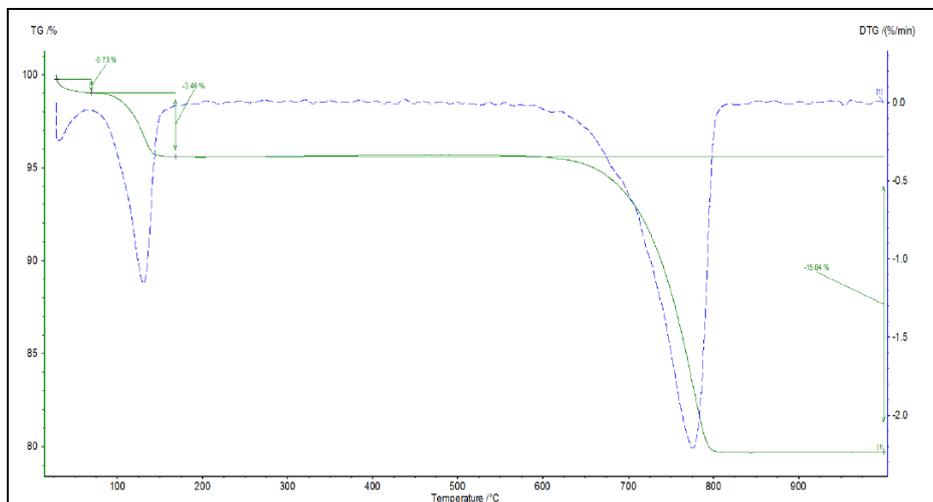


Figura 88 – Curvas TG/DTG da amostra de gesso liso lento popular de mercado (procedência não identificada).

A perda ao fogo elevada na amostra de gesso liso lento popular de mercado, confirmada por dois métodos de ensaios [análises químicas semiquantitativas por fluorescência de raios-X e análises termogravimétricas (TG/DTG) (análise térmica diferencial e termogravimétrica simultânea)], pode estar associada ao volume elevado de CO₂ liberado pela decomposição térmica dos carbonatos presentes (dolomita e calcita), conforme será constatado adiante.

Ainda, a fim de se identificar alguma diferença que pudesse justificar a diferença no comportamento ao fogo do revestimento com gesso liso lento popular de mercado, foram procedidas análises mineralógicas quantitativas por difração raios-X, como pode ser observado nas tabelas 8 a 10 e nos difratogramas das figuras 89 a 91.

Tabela 8 – Resultados da análise semiquantitativa das fases analisadas (amostra de gesso formulado liso).

Compostos ou fases mineralógicas	Fórmula molecular	Fichas de estruturas ICDD (código)	Resultados, em %
Bassanita	CaSO ₄ ·½H ₂ O	98-007-3263	88,9
Anidrita	CaSO ₄	98-018-3917	7,1
Ankerita	Ca _{3,15} Fe _{1,89} Mg _{0,81} Mn _{0,15} (CO ₃) ₆	96-900-9592	1,2
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	96-900-0084	1,1
Calcita	CaCO ₃	96-900-0967	1,2
Gipsita	CaSO ₄ ·2H ₂ O	98-002-7221	0,6
Quartzo Alfa	α SiO ₂	98-004-1672	< 0,1

Tabela 9 – Resultados da análise semiquantitativa das fases analisadas (amostra de gesso projetado).

Compostos ou fases mineralógicas	Fórmula molecular	Fichas de estruturas ICDD (código)	Resultados, em %
Bassanita	CaSO ₄ ·½H ₂ O	98-007-3263	93,2
Anidrita	CaSO ₄	98-001-6382	4,3
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	96-900-0084	1,3
Calcita	CaCO ₃	96-900-0967	0,6
Gipsita	CaSO ₄ ·2H ₂ O	98-002-7221	0,4
Olivina	CoMg ₇ (SiO ₄) ₄	96-900-6398	0,1
Quartzo	SiO ₂	96-900-9667	< 0,1

Tabela 10 – Resultados da análise semiquantitativa das fases analisadas (amostra de gesso liso lento popular de mercado).

Compostos ou fases mineralógicas	Fórmula molecular	Fichas de estruturas ICDD (código)	Resultados, em %
Bassanita	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	98-007-3263	65,2
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	96-900-1044	22,5
Calcita	CaCO_3	96-901-6707	5,5
Anidrita	CaSO_4	98-001-6382	2,0
Quartzo Alfa	αSiO_2	96-101-1177	1,1
Hornblenda	$\text{Si}_{14,56}\text{Al}_{2,00}\text{Mg}_{6,98}\text{Fe}_{2,66}\text{Ti}_{0,12}\text{Ca}_{3,32}\text{Na}_{1,25}\text{Mn}_{0,04}\text{K}_{0,03}\text{H}_{4,00}\text{O}_{47,60}\text{F}_{0,40}$	96-900-4434	1,0
Olivina	$\text{Fe}_{0,145}\text{Mg}_{1,854}\text{SiO}_4$	98-018-2588	0,8
Crisotila	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	98-041-3633	0,7
Ankerita	$\text{CaFe}_{0,23}\text{Mg}_{0,77}(\text{CO}_3)_2$	98-020-3097	0,7
Zeolita	SiO_2	98-017-0495	0,5

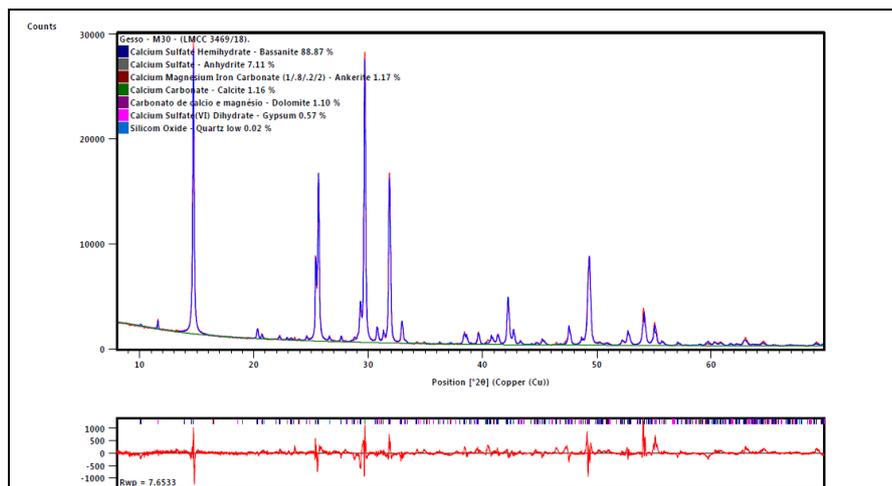


Figura 89 – Difratoograma de Raios-X da amostra de gesso formulado liso (procedência: Placo/Saint-Gobain).

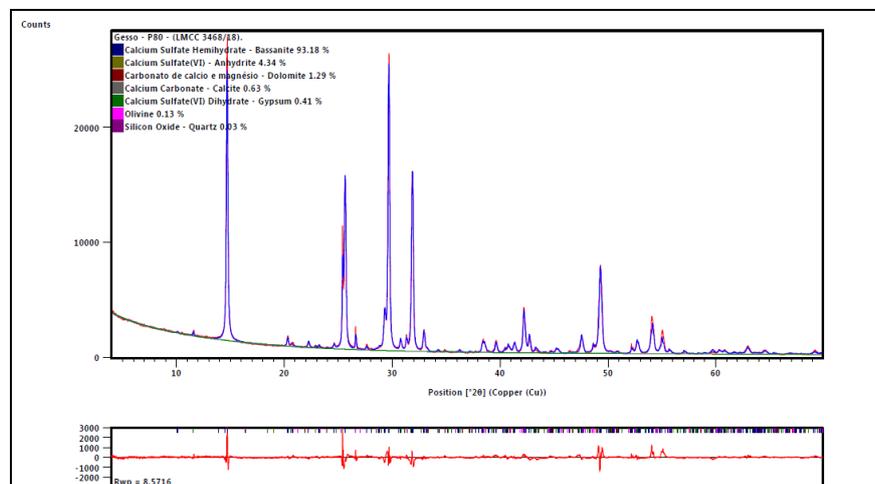


Figura 90 – Difratoograma de Raios-X da amostra de gesso projetado (procedência: Placo/Saint-Gobain).

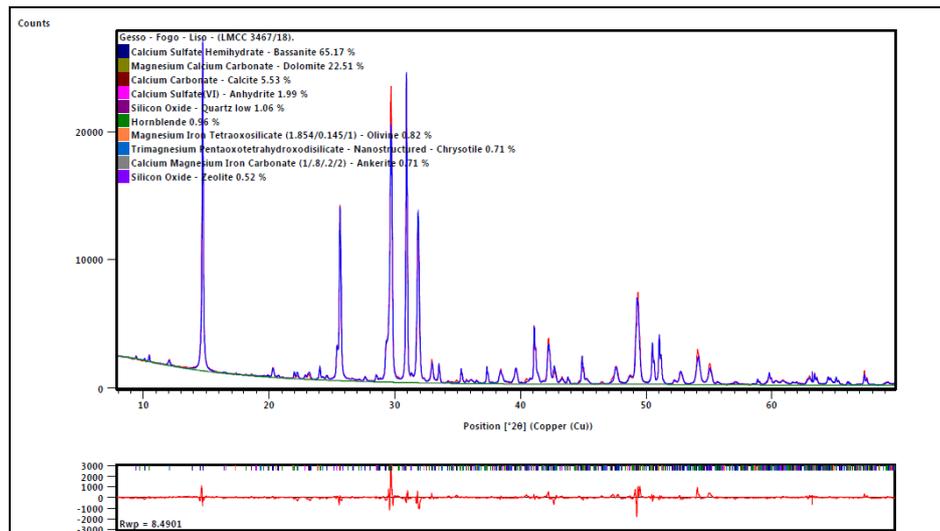


Figura 91 – Difratoograma de Raios-X da amostra de gesso liso lento popular de mercado (procedência não identificada).

Em suma, pode-se observar uma grande diferença na amostra de gesso liso lento popular de mercado quando comparada com as de gesso formulado liso e gesso projetado (de procedência da Placo/Saint-Gobain), principalmente nos teores de bassanita e dolomita. Segundo Cincotto, Agopyan e Florindo (1988), o gesso de construção é definido como o produto da calcinação da gipsita contendo hemidrato (bassanita) em uma porcentagem mínima especificada, que varia de país para país. Em decorrência das condições de calcinação, pode conter em porcentagem menor as anidritas solúvel e insolúvel e a gipsita. Se a matéria prima é impurificada por quartzo, argila, calcita ou dolomita, eles se constituem em impurezas do produto.

Neste contexto, e considerando todas as condições e limitações do estudo experimental desta pesquisa, acredita-se que, certamente, a presença de um maior teor de carbonatos (dolomita e calcita), identificada na decomposição térmica da amostra de gesso liso lento popular de mercado em proporções elevadas (quando comparada às amostras de procedência da PLACO/Saint Gobain), vai gerar um significativo volume de anidrido carbônico que, combinado com um ambiente de rápida taxa de aquecimento e excessivas temperaturas no interior do forno (caracterizados pela curva ISO 834), vai gerar, conseqüentemente, pressão de expansão em maior escala, resultando o deslocamento expressivo constatado (*spalling* severo), inclusive com exposição de armadura (justificando o quadro constatado no ensaio do evento 2).

Em outras palavras, acredita-se simplesmente que, se a amostra de gesso liso lento de mercado cumprisse com as prescrições mínimas da normalização vigente (livre ainda de elevados teores de materiais carbonáticos), assim como as da PLACO/Saint Gobain, o comportamento ao fogo dos revestimentos em gesso seria bem parecido.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Conforme exposto neste relatório, esta pesquisa contemplou um programa experimental de grande porte, que requereu apoio da iniciativa privada em forma de subsídios para aquisição (ou de fornecimento direto) de materiais, insumos, produtos e equipamentos, além da doação de mão de obra e investimentos significativos no valor dos ensaios de simulação de incêndio e despesas de instrumentos de medição (termopares) e de outras despesas correlatas.

Mesmo assim, considera-se que todos os recursos necessários foram disponibilizados em tempo hábil para o cumprimento do prazo de pesquisa de dois anos completos (incluindo a prorrogação de seis meses), levando em consideração, ainda, os ensaios químicos complementares nas amostras de gesso, inicialmente não previstos.

8.1 Considerações finais

Numa visão geral, esta pesquisa possibilitou argumentar o quanto alguns parâmetros, como o tipo de revestimento contrafogo de um elemento de concreto (e suas condições intrínsecas) ou a idade de uma amostra, podem influenciar positiva ou negativamente os resultados obtidos em um programa experimental de simulação de incêndio e, conseqüentemente, em uma situação real de uma estrutura de concreto que sofreu ações térmicas procedentes de um cenário de incêndio.

Quanto aos objetivos propostos, considera-se que foi possível avaliar em profundidade e consistência o comportamento dos diferentes revestimentos contrafogo, bem como suas respectivas correlações e peculiaridades durante e após os ensaios de simulação de incêndio de forma detalhada e abrangente.

Acredita-se, ainda, que os resultados divulgados nesta pesquisa contribuam de fato para subsidiar eventuais análises térmicas computacionais, bem como as diretrizes e especificações para revestimentos contrafogo em duas situações: obras envolvendo *retrofit* ou falhas construtivas, ambas com espessuras de revestimento insuficientes (quando comparadas com a normalização vigente, ABNT NBR 15200:2012), premissas desta pesquisa.

Quanto aos resultados obtidos nos dois eventos de ensaio de simulação de incêndio, têm-se na Tabela 11 as diferenças organizadas entre os mesmos, onde se pode notar claramente (realçado em vermelho), no evento 1 (com gesso de procedência da PLACO/Saint-Gobain), a eficiência de 250% do revestimento de gesso em relação à amostra revestida com argamassa industrializada, inclusive parametrizado com a amostra de referência. A diferença dos termopares instalados na região do revestimento [valores médios de 195 °C (argamassa) e 186 °C (gesso)] é de somente 9 °C (inferior a 5%), lembrando que o revestimento de gesso liso possui 1 cm e o de argamassa 2,5 cm (proporção de 1:2,5).

Tabela 11 – Resultados das temperaturas médias no instante de 120 minutos dos dois eventos (região do revestimento e do núcleo dos elementos).

Evento 1 (gesso procedência PLACO/Saint-Gobain)			Evento 2 (gesso procedência popular de mercado)		
Revestimento	Termopar Cobrimento 15mm	Termopar Núcleo 150mm	Revestimento	Termopar Cobrimento 15mm	Termopar Núcleo 150mm
Argamassa	195 °C	68 °C	Argamassa	241 °C	81 °C
Gesso Projetado	231 °C	76 °C	Tinta intumescente	359 °C	98 °C
Referência	543 °C	96 °C	Referência	533 °C	90 °C
Gesso Liso	186 °C	66 °C	Gesso Liso	487 °C	82 °C

Raciocinando de forma expedita, admitindo uma taxa linear de crescimento de temperatura no interior das amostras (gráfico da Figura 60), tem-se que o revestimento de argamassa base cimento equivale também a 100% do revestimento de concreto, em termos de eficiência, conforme informado em literatura (SILVA, 2012). Fato é que a espessura conjugada de revestimento de argamassa com o revestimento de concreto importa em 40 mm até a região do primeiro termopar (15 mm do revestimento de concreto + 25 mm do revestimento em argamassa); relacionando essa espessura conjugada de 40 mm com o revestimento de 15 mm (do elemento de referência, sem

revestimento) tem-se o coeficiente de 2,7, o que corresponde a praticamente ao mesmo coeficiente (de 2,8) da relação entre as temperaturas aferidas nesses pontos (543 °C aferido no elemento de referência e 195 °C aferido no elemento revestido com argamassa industrializada base cimento).

Ainda, considerando que a tinta intumescente impediu aproximadamente 50% (174 °C) da temperatura [quando comparada com as amostras de gesso e argamassa do evento 1, de 348 °C para o revestimento de gesso formulado liso e 357 °C para o revestimento de argamassa], poder-se-ia presumir que a mesma, nesse evento de ensaio, deveria possuir o dobro de sua espessura aplicada, ou aproximadamente 1000 micrometros (1 mm) *WFT* para impedir uma temperatura de mesma ordem.

Não obstante, em questões de eficiência dos três revestimentos (argamassa, gesso e tinta intumescente), considerando o gesso formulado liso equivalente ao gesso projetado e excluindo o comportamento do gesso liso lento popular de mercado, tem-se, por extrapolação, as taxas de eficiência (com relação ao material concreto, de referência) apresentadas na Figura 92.

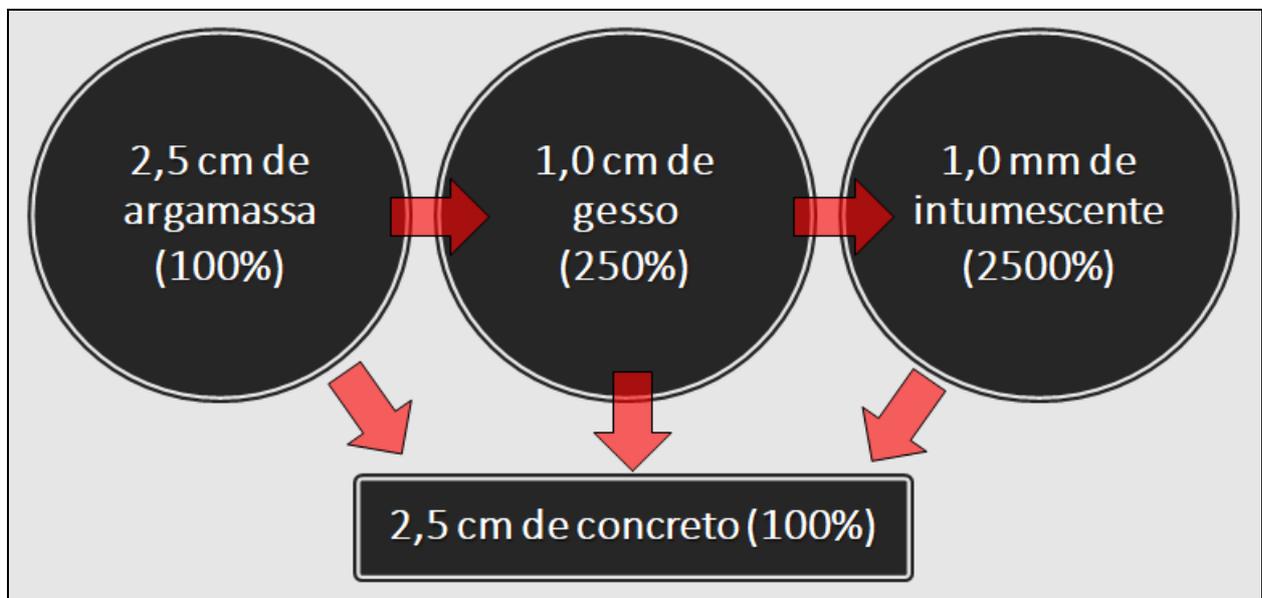


Figura 92 – Taxas de eficiência extrapoladas com relação ao material concreto, de referência.

Analisando a Figura 92, em outras palavras, tem-se que, no que tange ao desempenho de revestimento contrafogo em elementos de concreto armado, uma espessura de argamassa equivaleria à mesma espessura do concreto de referência (100%, 1:1),

essa espessura dividida por 2,5 equivaleria à espessura de gesso (250% de eficiência, 2,5:1) e, ainda, essa espessura dividida por 25 equivaleria à espessura de tinta intumescente (2500%, 25:1).

Evidentemente que não foi comprovada nesta pesquisa a correlação da espessura e, conseqüentemente, eficiência da tinta intumescente em 2500% (em relação ao revestimento de argamassa e ao concreto de referência), entretanto, a mesma foi extrapolada em função das temperaturas obtidas nos eventos de ensaio de simulação de incêndio e carece de pesquisas futuras para confirmação, conforme será sugerido adiante.

Em outro aspecto, destaca-se a importância da caracterização das propriedades do gesso que, ao que parece, possui comportamento singular e que interfere bastante no desempenho do revestimento quando usado como alternativa contrafogo. Em face ao exposto nessa pesquisa, é indispensável que o gesso usado para essa finalidade (revestimento contrafogo) cumpra com os requisitos básicos prescritos em norma e não contenha impurezas com elevados teores de materiais carbonáticos, que podem acarretar em deslocamentos severos em ambientes de elevadas temperaturas, inclusive com *spalling* do elemento de concreto, em virtude da geração de elevados volumes de anidrido carbônico e, conseqüentemente, pressões expansivas em maior escala.

Este trabalho teve, portanto, a intenção de contribuir com o conhecimento das premissas e requisitos necessários para o desenvolvimento de novos estudos experimentais que envolvam revestimentos contrafogo aplicados em elementos de concreto armado, apresentando em detalhes os experimentos realizados e propondo algumas diretrizes e recomendações coerentes e de fácil implementação em futuras pesquisas, como, por exemplo, uma idade mínima para os elementos de concreto e dos próprios revestimentos contrafogo aplicados. Especificamente no caso dessa pesquisa os elementos de concreto possuíam aproximadamente um ano quando ensaiados, e os revestimentos, aproximadamente seis meses de aplicação.

No entanto, muito daquilo que foi apresentado é caracterizado por pioneirismo, principalmente no que tange ao revestimento contrafogo envolvendo tinta intumescente aplicada diretamente no elemento de concreto e, portanto, passível de ajustes e

aperfeiçoamentos pertinentes. Reitera-se, mesmo assim, que se procurou apresentar todas as etapas do programa experimental em detalhes para possibilitar uma eventual reprodutibilidade ou subsidiar pesquisas, ensaios e análises correlatas.

8.2 Conclusões propriamente ditas

Em linhas gerais, tem-se que:

1. A espessura de 15 mm de cobrimento do elemento de concreto de referência, sem nenhum revestimento contrafogo, evitou aumento de temperatura de aproximadamente 500 °C, em relação à curva-padrão ISO 834, nos dois eventos de ensaio de simulação de incêndio, com deslocamentos de pouca monta (entre 6 mm e 7,5 mm, respectivamente) e sem exposição da armadura. Acredita-se que esse quadro favorável foi muito em função da idade, geometria e tamanho da seção transversal dos elementos de concreto armado e disposições construtivas da armadura;
2. A temperatura na barra de aço (região de cobrimento), mesmo com 120 minutos na curva ISO 834 e somente 15 mm de cobrimento, não ultrapassou 600 °C nas amostras de referência. Acredita-se que esse fato também esteja associado à idade e dimensões da seção transversal dos elementos de concreto armado;
3. Ao que parece, 1,0 cm de gesso equivale a 2,5 cm de argamassa, conforme consta na literatura técnica pertinente e citada exaustivamente neste relatório científico. Excluindo, obviamente, a amostra de gesso do evento 2 (gesso liso lento popular de mercado), pelos motivos mencionados relacionados com o produto;
4. O gesso deve cumprir com os requisitos de norma ABNT NBR 13207:2017 para as validações necessárias (250% de eficiência);
5. Ao que parece, também, a eficiência do revestimento de argamassa base cimento equivale à do concreto (confirmado por meio das temperaturas aferidas nos termopares);

6. A tinta intumescente obteve da ordem da metade da eficiência do revestimento de argamassa e gesso (do evento de ensaio 1) somente com uma espessura de 540 *WFT*;
7. Presume-se que 1,0 mm de espessura de tinta intumescente possua o mesmo desempenho em termos de revestimento contrafogo que as espessuras de argamassa e gesso estudadas (em termos de barreira de temperatura), o que importa numa eficiência de 2500% em termos de diferença de espessura (carece de confirmação mediante pesquisas futuras).

8.3 Sobre os preços e viabilidade dos revestimentos contrafogo estudados

Durante a elaboração desse relatório científico foi aferido que, considerando o revestimento de argamassa como referência (espessura de 2,5 cm), a solução em gesso (1,0 cm) importaria num preço da ordem de 60% deste valor de referência (considerando material e mão de obra), e a tinta intumescente (540 *WFT*) em aproximadamente o dobro deste valor de referência (do revestimento em argamassa). Foi apurado, ainda, que o preço de mercado do revestimento de argamassa, conforme os procedimentos e especificações adotados nesta pesquisa (chapisco + argamassa industrializada com espessura de 2,5 cm + mão de obra), importava num montante de R\$ 39,00 (trinta e nove reais) por metro quadrado aplicado (material + mão de obra). Ou seja, o preço da solução em gesso seria da ordem de R\$ 23,40 (vinte e três reais e quarenta centavos), e o da solução em tinta intumescente, da ordem de R\$ 78,00 (setenta e oito reais), ambos por metro quadrado aplicado (material + mão de obra).

Não obstante, uma menção importante deve ser registrada. A viabilidade não pode ser avaliada singularmente pelo preço por metro quadrado aplicado, uma vez que cada projeto/obra possui sua peculiaridade. Em obras prontas, por exemplo, onde houve falha construtiva (cobrimento insuficiente), a opção em tinta intumescente pode ser bastante atrativa, uma vez que pode haver restrições arquitetônicas (em pilares, por exemplo) e também dificuldade na logística e acesso para aplicação de gesso e/ou argamassa, sem contar ainda as questões de sujidade e desperdício de materiais envolvidos. Em grandes projetos envolvendo *retrofit*, em construção, as opções em

gesso e em argamassa podem ser mais acessíveis e convenientes por se inserirem num contexto real de canteiro de obras em andamento.

8.4 Recomendações para continuidade dos estudos

A partir da realização desta pesquisa e considerando também todos os aspectos pertinentes ao pioneirismo, entende-se que podem ser desenvolvidos trabalhos futuros para continuidade dos estudos relacionados com os temas abaixo:

- Estudar outras espessuras de tinta intumescente (maiores que a adotada nessa pesquisa, no mínimo o dobro), a fim de avaliar as temperaturas internas aferidas no interior da massa de concreto. O ideal seria parametrizar a mesma temperatura para revestimentos distintos e espessuras distintas (como idealizado neste programa experimental), a fim de se confirmar a eficiência de 2500%, aventada como extrapolação nessa pesquisa;
- Estudar, por meio de extenso programa experimental, outros revestimentos não aderidos ao concreto, como placas de gesso acartonado, placas de fibro-silicato autoclavado, placas de silicato de cálcio, placas de fibrocimento e outras do gênero.
- Proceder com análises térmicas computacionais com base nos resultados apresentados neste relatório científico e seus anexos.

Finalizando, os conhecimentos adquiridos nesta pesquisa serão transferidos ao meio técnico por meio de artigos, palestras, seminários, bem como possivelmente em contribuições à normalização junto à Comissão de Estudos do Comitê Brasileiro de Segurança Contra Incêndio (ABNT / CB-24).

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, B. Behaviour of gypsum and gypsum products at high temperatures. **RILEM Committee PHT-44**, British Gypsum, East Leake, Loughborough, England March 1982.

ALMEIDA, D. F. **As estruturas de concreto armado e o fogo, comportamento, consequências, restauração**. 1984. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5627**: Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo (cancelada). Rio de Janeiro, 1980. 4 p.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto, procedimentos. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

_____. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989. 7 p.

_____. **NBR 13207**: Gesso para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 3 p.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

_____. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio (cancelada). Rio de Janeiro, 2004. 17 p.

_____. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012. 48 p.

ATEFI, H.; NADJAI, A. ; ALI, F. Numerical and experimental investigation of the thermal behaviour of coated cellular beamns with intumescent coatings at elevated temperatures. In: **IFireSS 2017 – 2nd International Fire Safety Symposium**. Naples, Italy, June 7-9, 2017. p. 257-264.

BRITTEZ, Carlos Amado. **Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas**. São Paulo, 2011. 252 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. O gesso como material de construção civil – composição química (1ª parte). In: **Tecnologia de Edificações**. IPT. São Paulo: PINI, 1998. p. 53-56.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON (FIB). **Fire design of concrete structures – materials, structures and modeling – State-of-art report**. Lausanne, fib 2007. 97p. (Bulletin d'information; 38).

HELENE, P. *et al.* **Retrofit da estrutura de concreto armado de um edifício em São Paulo com mais de 50 anos de idade**. Trabalho apresentado ao CONPAT 2015, XIII Congresso Latino Americano de Patologia da Construção, Lisboa, 2015. 8p.

HELENE, P.R.L.; HARTMANN, C. T. Concretos de alta resistência. **Téchne**, n. 81, p. 70-73, dez. 2003.

KODUR, V.K.R *et al.* **Experimental studies on the fire endurance of high-strength concrete columns**. Canada: IRC/NRC, 2000. 146p. (NCR-CNRC Internal Report 819).

KODUR, V.K.R. **Guidelines for fire resistance design of high-strength concrete columns**. Ottawa, Ontário, Canadá: IRC/NRC, 2005. (Report NRCC-47729). Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc47729/>>. Acesso em: novembro de 2007.

LANDI, F. R. **Ação do incêndio sobre as estruturas de concreto armado**. Boletim técnico nº 01/86. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1986. 24p.

LUCHERINI, A.; MALUK, C. Novel test methods for studying the fire performance of thin intumescent coatings. In: **IFireSS 2017 – 2nd International Fire Safety Symposium**. Naples, Italy, June 7-9, 2017. p. 565-572.

MALHOTRA, H. L. Properties of Materials at High Temperatures — Report on the work of technical committee 44-PHT. **Materials and Structures/Matériaux et Constructions**. Vol. 15. N° 86. RILEM, Paris, 1982.

MOREIRA, Caio C. **Contribuição para o estudo de opções para proteção passiva de estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. São Paulo, 2016. 96p. Monografia (Especialização) – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações.

MORITA, T. *et al.* An estimation method for fire resistance of reinforced concrete elements considering spalling. In: **Proceedings of the 1st fib Congress**. 2002. p. 119-128.

OGRIN, A.; SAJE, M.; HOZJAN, T. Effect of incomplete expansion of intumescent coating on mechanical response of steel frame in fire. In: **IFireSS 2017 – 2nd** International Fire Safety Symposium. Naples, Italy, June 7-9, 2017. p. 365-372.

SEITO, A. I. *et al.* **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 496 p.

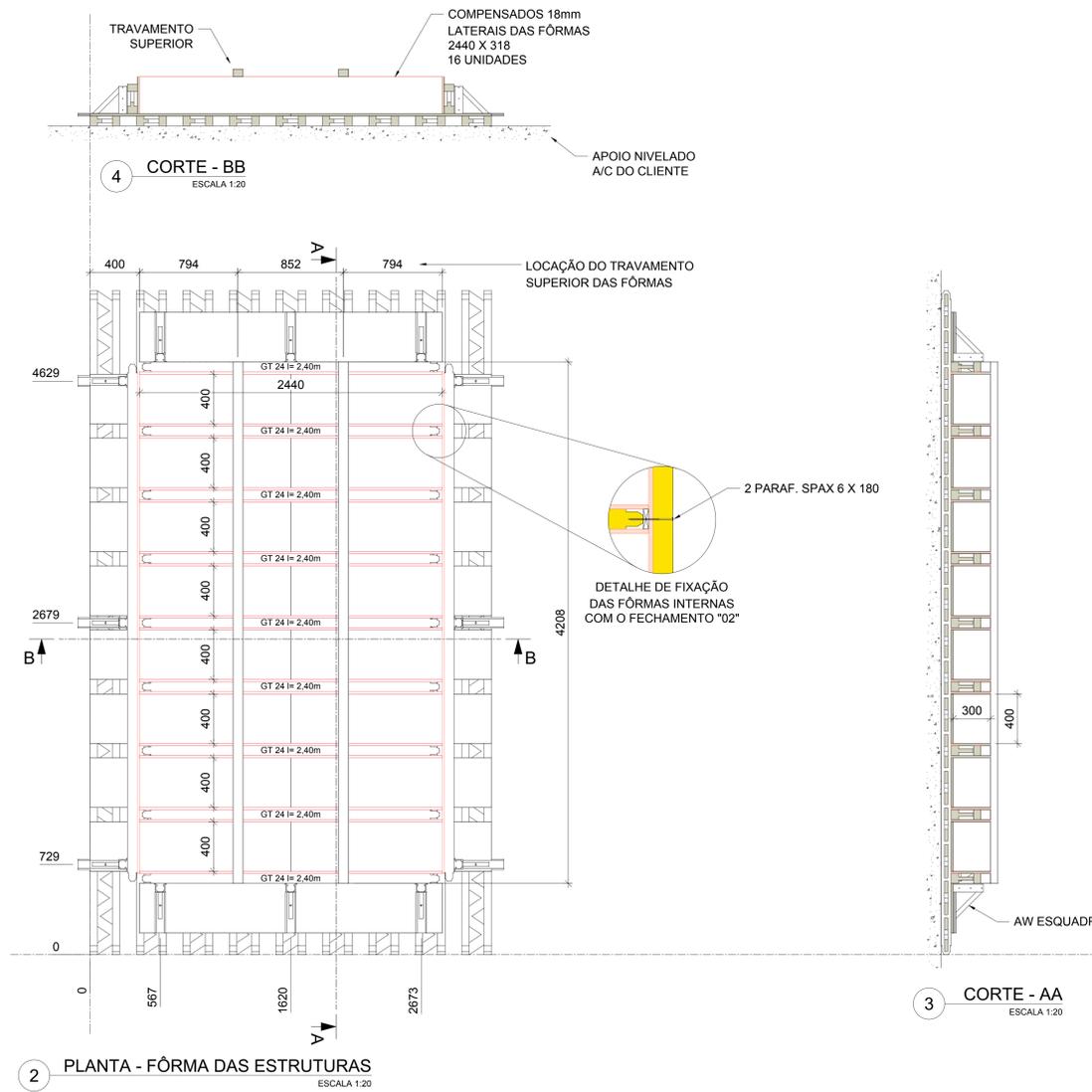
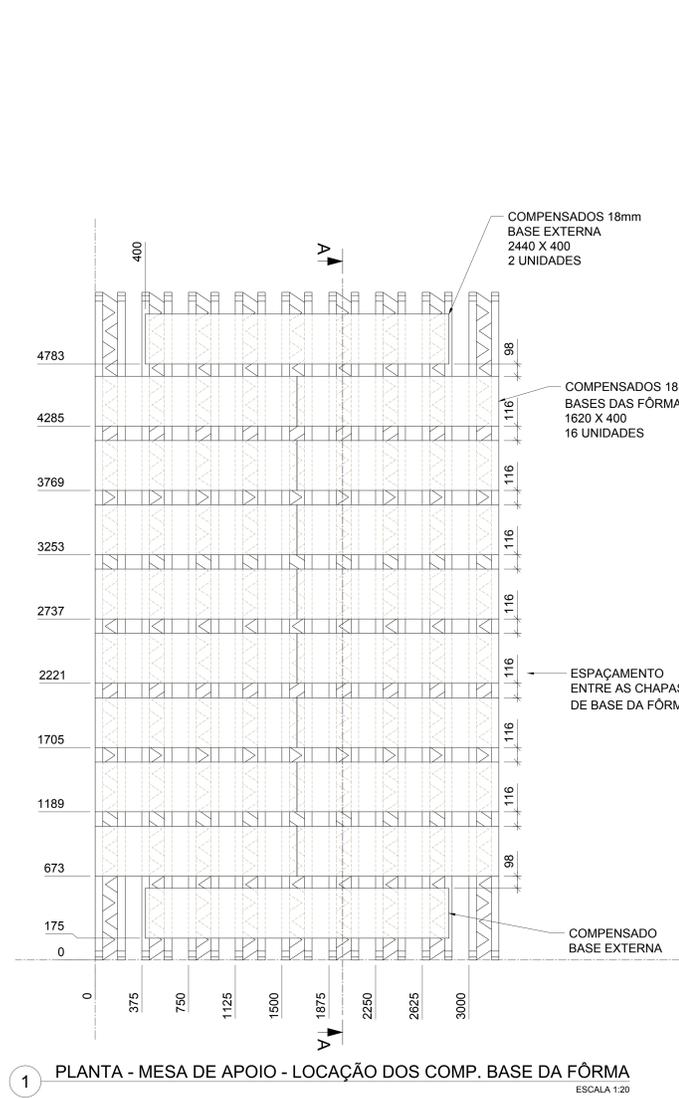
SILVA, D.; BILOTTA, A.; NIGRO, E. Experimental analysis on the effectiveness of intumescent coatings in fire. In: **IFireSS 2017 – 2nd** International Fire Safety Symposium. Naples, Italy, June 7-9, 2017. p. 249-256.

SILVA, V. P. Considerações sobre as normas brasileiras de estruturas em situação de incêndio. 2007. 7 p. Artigo científico. **Revista Incêndio**, nº 46, 2007.

_____. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, conforme ABNT NBR 15200:2012**. São Paulo: Blucher, 2012.

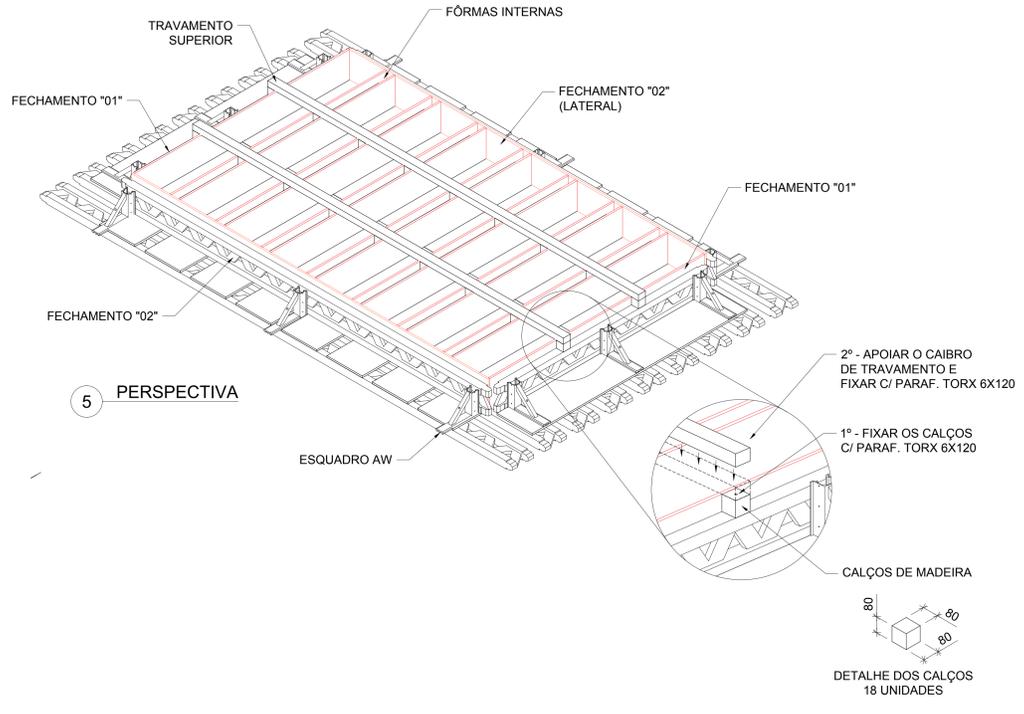
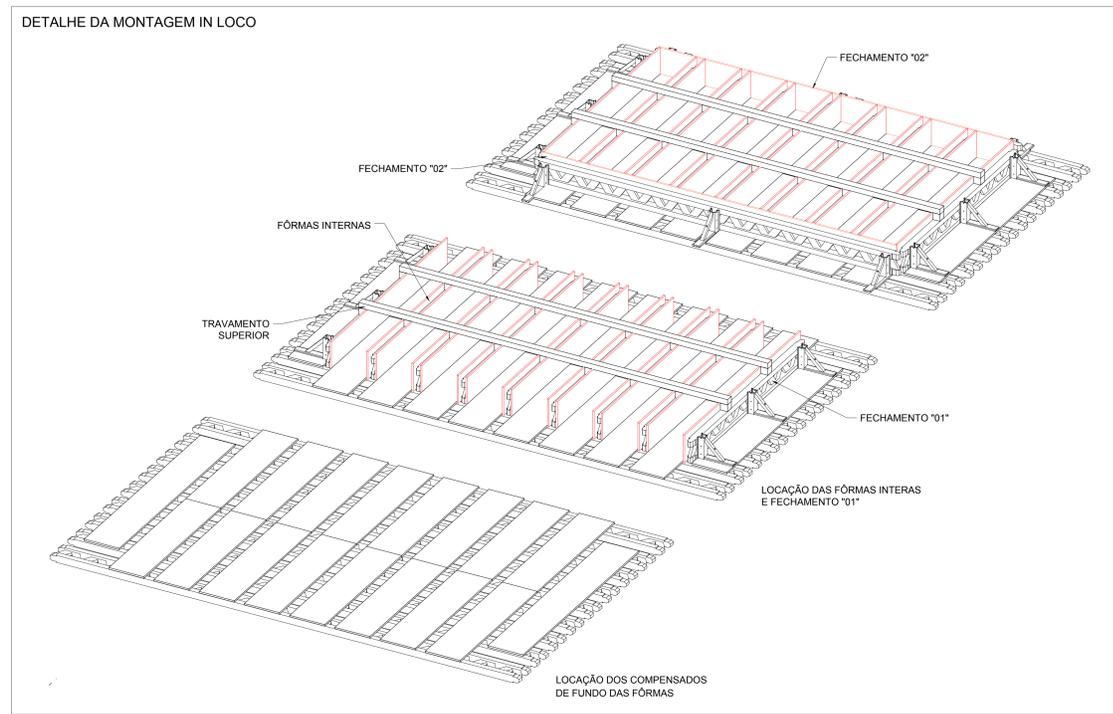
ANEXO A

Projeto de fôrmas e escoramentos dos elementos de concreto armado desta pesquisa,
elaborado pela PERI Brasil.



1 PLANTA - MESA DE APOIO - LOCAÇÃO DOS COMP. BASE DA FÔRMA
ESCALA 1:20

2 PLANTA - FÔRMA DAS ESTRUTURAS
ESCALA 1:20



5 PERSPECTIVA

Element description: FÔRMA DOS PILARES Quantity: 1 x as drawn				
Pos.	Art-No.	Article Description	Quantity	Unit Weight
-	-	-	-	-
7	065070	AW ESQUADRO	12	PC 1,68
6	075240	VIGA GT-24 2,40M	9	PC 14,20
5	075420	VIGA GT-24 4,20M	2	PC 24,80
4	075540	VIGA GT-24 5,40M	9	PC 31,90
3	024470	PARAF. TSS TORX-6X60	750	100 PC 0,01
2	024990	PARAF. SPAX SK TX 30 AMAR 6X180	50	100 PC 0,02
1	024960	PARAF. SPAX SK TX 30 AMAR 6X120	50	100 PC 0,02
Total Weight:			kg	492

**PROJETO EXECUTIVO
LIBERADO PARA EXECUÇÃO**

Revisão 4			
Revisão 3			
Revisão 2			
Revisão 1			

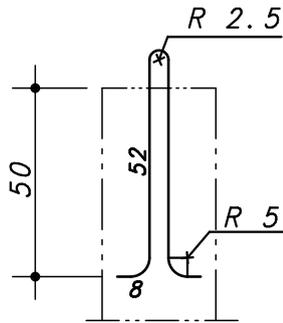
	PERI FORMAS E ESCORAMENTOS Raposo Tavares, km 41 Colinas Bandeirantes - Vargem Grande Pla CEP: 06730-000	São Paulo - Brasil Telefone: 0855 (011) 4158-8188 e-mail: info@peribrasil.com.br
	Cliente: CARLOS AMADO BRITTEZ, Dr	Nome: _____ Data: _____
Projeto: ELEMENTO DE PESQUISA	Projetista: EDER RICCO	Data: 08/03/2017
Sub-Projeto: PÓS-DOUTORADO	Revisado: EDER RICCO	Data: 16/08/2017
Sistema: GT-24	Este documento não pode ser reproduzido total ou parcialmente sem autorização.	
Escala: 1:20	Número de Projeto: 170607-B001-R00	Número de Folha: 01/01

ANEXO B

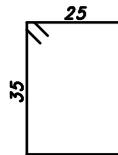
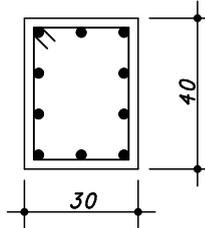
Projeto das amaduras dos elementos de concreto armado desta pesquisa, elaborado pela empresa PhD Engenharia, com colaboração do Eng. Douglas Couto e deste pesquisador.

DETALHE PARA PILAR DE ENSAIO (8X)

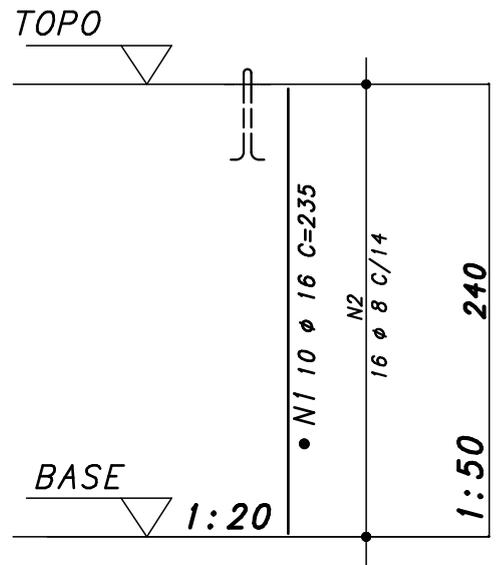
DETALHE DO GANCHO (2 POR PILAR) (16 NO TOTAL)



N3 16 ϕ 12.5 C=134 - CA-25



N2 20 ϕ 8 C=136



f_{ck} 25MPa

AÇO	POS	BIT (mm)	QUANT	COMPRIMENTO	
				UNIT (cm)	TOTAL (cm)
DETALHE PARA PILAR DE ENSAIO (12X)					
50A	N1	16	80	235	18800
50A	N2	8	160	136	21760

RESUMO AÇO CA 50-60			
AÇO	BIT (mm)	COMPR (m)	PESO (kg)
50A	8	218	86
50A	16	188	297
Peso Total		50A =	383 kg

RESUMO AÇO CA 25			
AÇO	BIT (mm)	COMPR (m)	PESO (kg)
25	12.5	22	22
Peso Total		CA-25 =	22 kg

REV.	DATA	DESCRIÇÃO DA REVISÃO	RESP.
01	08/05/17	ACRESCENTADO GANCHO CA-25	CARLOS
00	13/02/17	EMIÇÃO INICIAL	CARLOS

	TÍTULO: DETALHE DO PILAR DE ENSAIO		FOLHA: 01	REVISÃO: 01
	OBRA: PÓS-DOC - EPUSP			
	REFERÊNCIAS: -			
	RESP.: ENG. CARLOS BRITZ	VISTO:		

ANEXO C

Carta traço do concreto (f_{ck} 25MPa) utilizado para confecção dos elementos em concreto armado desta pesquisa, elaborada pela Engemix S. A. / Votorantim Cimentos.

São Paulo, 29 de setembro de 2017.

À
CARLOS AMADO BRITEZ

Ref.: Carta de traço.

Segue composição do traço por metro cúbico, conforme solicitado:

6159931	ESP C25 B01 SL20±3		
COD. MCC	TIPO MCC	QTDE	UND
3013671	ADITIVO MID RANGE MIRAFLOW 920	1,96	KG
3005733	ÁGUA - REDE DE ABASTECIMENTO ENGEMIX	175	L
4254361	AREIA DE BRITA – VC ARAÇARIGUAMA	515	KG
3012963	AREIA MEDIA – MINERMIX	396	KG
4254353	BRITA 0 – VC ARAÇARIGUAMA	424	KG
4254354	BRITA 1 – VC ARAÇARIGUAMA	633	KG
4254339	CIMENTO CP II - E 40 GRANEL	280	KG

OBS.:

- Esta carta de traço tem validade de 90 dias.
- O traço está sujeito à alteração com prévio aviso ao cliente, devendo manter as características técnicas previstas em contrato e não sua composição.
- Estamos à disposição para quaisquer esclarecimentos que se façam necessária.

Atenciosamente,



Eng. André Tavares Simoni
Coordenador de Tecnologia

ANEXO D

Fichas técnicas e de segurança dos produtos utilizados nesta pesquisa: gesso formulado liso tipo M30, de procedência da PLACO/Saint-Gobain, de aplicação manual com desempenadeira lisa de aço; gesso projetado tipo P80 de procedência também da PLACO/Saint-Gobain, de aplicação com uso da máquina de projeção tipo M280 (m-tec); argamassa industrializada tipo Multimassa Uso Geral Quartzolit de procedência da Weber/Saint-Gobain, comercializada em sacos de 20kg; Chapisco Rolado Quartzolit especial para gesso, de procedência da Weber/Saint-Gobain, aplicado com rolo para aplicação textura extra rústica; Chapisco Colante Quartzolit especial para argamassa, de procedência da Weber/Saint-Gobain, aplicado com desempenadeira de aço dentada / dente 8mm x 8mm) e tinta intumescente tipo CKC-333, de procedência da CKC do Brasil

FICHA DE PRODUTOS

PLACOPLAST M30

PLACOPLAST M30

Descrição

Placoplast M30 é um produto de granulometria fina, formulado a base de sulfato de cálcio hemi-hidratado e aditivos especiais para revestimento interno de paredes de alvenaria.

Utilização

- Indicado para uso interno em revestimento de paredes e tetos de alvenaria, aplicado sobre tijolos, blocos cerâmicos e cimentícios, pilares e vigas.

Dados Técnicos

Composição	Sulfato de cálcio hemi-hidratado e aditivos especiais.
Consumo	5 – 7 Kg/m ² /cm (de acordo com as condições do substrato)
Rendimento	20 Kg → 3 – 4 m ² /cm
Relação água / massa	16 L de água / 20 Kg
Tempo de trabalhabilidade após a mistura com água	30 minutos
Embalagem	20 Kg

Aplicação

Preparação: Em um recipiente limpo, adicionar água limpa e em seguida polvilhar o Placoplast; agitar manualmente ou mecanicamente até atingir uma massa homogênea e de consistência desejada. *Não misturar outros produtos ao Placoplast.

- **Massa para enchimento:** a massa obtida deverá ser maleável, sem ser fluída e deve aderir em uma desempenadeira colocada de cabeça para baixo.

- **Massa para acabamento:** a massa deve ser fluída e deslizar na aplicação com desempenadeira.

Aplicação: Assegurar que as superfícies das paredes/tetos estejam limpas e livres de elementos que possam comprometer a aderência do Placoplast, tais como óleos, graxas, poeiras em excesso etc. Aplicar o Placoplast até se obter a camada de regularização desejada, utilizando desempenadeira plástica de 60 cm.

Regularização: igualar a superfície com a utilização de régua de alumínio de 2 m.

Pré-acabamento: corrigir pequenas imperfeições com desempenadeira plástica de 60 cm.

Acabamento: após 30 minutos aplicar o Placoplast com consistência mais diluída, utilizando desempenadeira metálica de 30 cm.

PLACOPLAST M30

Produto / Embalagem



Dados Gerais – Transporte, Manuseio e Armazenamento

- **Armazenamento:** Manter o produto em local seco, protegido e em superfície plana sobre o palete.

Estas informações são as recomendações relativas ao produto isoladamente (não instalado) e não afere o desempenho de um sistema drywall. Os dados técnicos apresentados pela Placo do Brasil são válidos para os produtos quando armazenados, manuseados e instalados conforme os procedimentos da Placo do Brasil e normas técnicas exigentes.

Este presente documento não é válido se reproduzido parcialmente.

A Placo do Brasil reserva-se no direito de alterar as especificações técnicas dos produtos sem aviso prévio.

Placo do Brasil | Av. Valentina Mello Freire Borenstein, 333 | Jd. São Francisco
Mogi das Cruzes – SP
0800 019 2540



FICHA DE PRODUTO | PLACOPLAST P80

Rev: 03-16

Descrição:

Placoplast P80 é um produto de granulometria fina, formulado a base de sulfato de cálcio hemi-hidratado e aditivos especiais para revestimento interno de paredes de alvenaria.

Uso:

➤ INTERNO

INDICADO PARA:

- Revestimento de paredes e tetos de alvenaria, aplicado sobre:
 - Tijolos
 - Blocos Cerâmicos e Cimentícios
 - Pilares
 - Vigas



Monocapa para revestimento interno de paredes de alvenaria, tetos, pilares e vigas.

Placoplast P80 aplicação por projeção

Vantagens:

- Fácil aplicação;
- Aplicação imediata após o preparo;
- Alto rendimento do material, aumentando a produtividade do instalador;
- Mais leve, menor esforço de aplicação;
- Excelente acabamento, proporcionando superfícies mais lisas e planas;
- Maior produtividade em relação ao Manual.

Composição:

Sulfato de cálcio hemi-hidratado e aditivos especiais.

Embalagem e forma de comercialização:

- ✓ Sacos de polietileno de 20 Kg
- ✓ Paletes com 1.000 Kg – 50 sacos / palete
- ✓ Quantidade mínima por pedido: 1 palete



FICHA DE PRODUTO | PLACOPLAST P80

Rev: 03-16

Dados Técnicos:

Consumo por m ² de revestimento	5-7 kg/m ² /cm
Rendimento	1 Saco = 3-4 m ² / cm
Relação de água / Massa	17 litros de água / Saco de Placoplast P80
Tempo de trabalhabilidade após a mistura com água	Placoplast P80 = 80 minutos
Embalagem	20 Kg

Armazenamento:

Os sacos deverão ser armazenados em superfície plana, local seco, afastado do piso, não sujeito a intempéries.

Aplicação:

Preparação: Ajustar água no equipamento de acordo com recomendações, agitar mecanicamente até atingir uma massa homogênea e de consistência desejada. **Não misturar outros produtos ao Placoplast.*

- **Massa para enchimento:** a massa obtida deverá ser maleável, sem ser fluída e deve aderir em uma desempenadeira colocada de cabeça para baixo.

- **Massa para acabamento:** a massa deve ser fluída e deslizar na aplicação com desempenadeira.

Aplicação: mecanizada (projeção mecânica). Assegurar que as superfícies das paredes/tetos estejam limpas e livres de elementos que possam comprometer a aderência do Placoplast, tais como óleos, graxas, poeiras em excesso etc. Aplicar o Placoplast até se obter a camada de regularização desejada, utilizando desempenadeira plástica de 60 cm ou maior.

Regularização: igualar a superfície com a utilização de régua de alumínio de 2 m.

Pré-acabamento: corrigir pequenas imperfeições com desempenadeira plástica de 60 cm.

Acabamento: após 80 minutos aplicar o Placoplast com consistência mais diluída, utilizando desempenadeira metálica de 30 cm.

Observações importantes:

O desempenho do produto só será alcançado se o aplicador seguir as recomendações ideais de água que constam na embalagem do produto.

Mantenha a embalagem fechada, fora do alcance de crianças e animais.

Utilizar EPI's (Equipamentos de Proteção Individual) ao manusear o produto: máscara, luvas, óculos de proteção e capacete.

Em caso de contato com os olhos, lave as áreas afetadas com água em abundância.

Evite inalar o produto. Caso ocorra alguma irritação, procurar cuidados médicos.

Produtos Placo, garantia e segurança para sua obra e seus clientes !

Este presente documento não é válido se reproduzido parcialmente.

PLACO DO BRASIL reserva-se no direito de alterar as especificações técnicas dos produtos sem aviso prévio.



Placo do Brasil

Av. Valentina Mello

Freire Borenstein, 333

Jd. São Francisco

Mogi das Cruzes . SP

Brasil . CEP 08735-270

0800 019 25 40

www.placo.com.br





multimassa uso geral quartzolit

1. UTILIZAÇÃO

Argamassa para revestimento de paredes em áreas externas e internas com aplicação manual.

- Indicado para blocos de concreto, blocos cerâmicos, sílico calcários, tijolos de barro maciços e superfícies de concreto. Todas as áreas externas a serem revestidas devem ser chapiscadas. Para uso externo e sobre estrutura de concreto aplique sobre chapisco colante quartzolit ou chapisco rolado quartzolit.
- Indicado para assentamento de blocos de concreto e blocos cerâmicos.
- Para revestimentos internos o produto pode ser aplicado diretamente sobre as alvenarias

2. LIMITES DE USO

Não aplicar:

- Sobre superfícies horizontais sujeitas à solicitações ou saturadas.
- Sobre superfícies plásticas ou de metal.
- Sobre gesso, revestimentos plásticos ou orgânicos.
- Sobre impermeabilizações ou materiais de baixa resistência mecânica.
- Em áreas de permanente contato com água ou em contato com o solo.
- Chapisco feito em obra ou industrializado com adição de aditivos químicos deve ser testado quanto a sua aderência e absorção antes da aplicação do reboco externo quartzolit.

3. COMPOSIÇÃO

Cimento, agregados minerais e aditivos especiais.

4. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

- Quantidade de água da mistura: 135 ml/Kg.
- Tempo de utilização: 2hs
- Densidade aparente: 1,50 kg/cm³
- Densidade fresca: 1,80 kg/cm³
- Classificação de acordo com a NBR 13.281/2005: P5 M4 R5 D4 U4 A3
- Referente ao produto fabricado na unidade de Jandira. Para demais unidades entrar em contato com a Weber. Para testes laboratoriais, siga o procedimento de mistura conforme NBR 13.276/2002 sem tempo adicional.

5. CONDIÇÃO DE APLICAÇÃO

- Temperatura de aplicação: ar ambiente + 5 °C a 40 °C.
- Temperatura da superfície da base: + 5 °C a 27 °C.
- Não aplicar em superfícies extremamente quentes, ou quando da expectativa de chuvas.

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção

Matriz: Via de Acesso João de Goes, 2.127 – Jandira/SP – Brasil – CEP 06612-000
Tel.:55 (11) 2196-8000 – Fax: 55 (11) 2196-8301 – SAC: 0800 709 6979 www.weber.com.br



6. PREPARO DE BASE

- Remover resíduos e contaminações da base antes da aplicação do chapisco.
- Preencher falhas na alvenaria ou juntas para obter uma superfície regular. Alvenarias muito irregulares geram consumo elevado do chapisco, além de não terem boa planeza e aspecto agradável.
- A limpeza da base pode ser executada conforme procedimentos (NBR7200/98 item 8.4.3)
- Todas as áreas externas devem ser chapiscada.
- Em situações de climas adversos, com temperaturas superiores a 25 °C e umidade inferior a 40%, umedeça a base antes da aplicação do reboco externo quartzolit.

7. MISTURA

- Para fazer a mistura do produto, usar somente água limpa na proporção indicada na embalagem. Não adicionar à mistura nada que não tenha sido recomendado pela Weber.
- Para mistura utilize sempre equipamentos próprios para argamassas. Adicione metade da água no compartimento do equipamento; em seguida, adicione todo o volume de argamassa e complete com o restante da água.
- O tempo de mistura pode variar em função do tipo de equipamento e quantidade de sacos e deve ser controlado pelo operador. Evite a formação de grumos na mistura, homogeneizando bem o material.

8. APLICAÇÃO

Revestimento

- Proteja as peças de alumínio, pois podem manchar se atingidas por reboco externo quartzolit no momento de sua aplicação.
- Em situações de climas adversos, com temperaturas superiores a 25 °C e umidade inferior a 40%, umedeça a base antes da aplicação do produto.
- O revestimento de paredes deve ser feito em uma única demão para espessuras até 2,5 cm.
- Para espessuras maiores, aplique uma segunda demão somente quando a anterior estiver suficientemente firme para suportar a segunda. Recomendamos que essa aplicação seja realizada na condição úmido sobre úmido.
- O revestimento pode atingir até 5 cm de espessura em duas demãos de 2,5 cm.
- Para espessuras superiores a 5 cm, deve ser empregada tela metálica entre camadas para estruturar o revestimento (consulte projetista especializado).
- Para aplicação com equipamento de projeção, recomendamos utilizar **reboco projetável quartzolit**.
- Para acabamento desempenado ou sarrafeado deve ser aguardado o puxamento da argamassa.
- O acabamento poderá ser sarrafeado, desempenado ou camurçado, dependendo do tipo de acabamento que receberá posteriormente (argamassa decorativa, pinturas, cerâmicas, pedras, etc.).

Assentamento

- Aplique a argamassa sobre os blocos com colher de pedreiro.

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção



- Posicione o bloco sobre a argamassa fresca, removendo o excesso de material e observando o alinhamento, prumo e nível da parede.
- Mantenha as juntas na espessura de 1 a 2 cm

9. CONSUMO

- 17 Kg/m²/cm de espessura – para revestimento
- 15 kg/m² - para assentamento de blocos 14x19x39cm

10. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

- Mantenha as embalagens fechadas e fora do alcance de crianças e animais.
- Antes de iniciar o manuseio do produto, sempre verifique se você está utilizando os EPIs necessários: respirador, óculos de proteção, capacete, protetor auricular, calçados de segurança e luvas.
- Durante o transporte do produto, nunca force a coluna e, se necessário, utilize cinta protetora.
- Em caso de contato com a pele, lave-a com água e sabão em abundância. Em caso de irritação ou de erupção cutânea, consulte um médico. Em caso de contato com os olhos, enxágue-os cuidadosamente com água, durante vários minutos. No caso de uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil, e continue enxaguando. Caso a irritação ocular persista, consulte um médico. Em caso de ingestão do produto, lave a boca da vítima com água em abundância. Caso ela sinta indisposição, contate um Centro de Informação Toxicológica ou um médico. Em todos os casos, leve consigo esta embalagem e a FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico) deste produto, disponível em www.weber.com.br

11. EMBALAGEM

Sacos de papel ou plástico 20kg e 30 kg.

12. COR

Disponível na cor cinza.

13. VALIDADE

- 30kg papel - 90 dias a partir da data de fabricação.
- 20kg papel ou plástico - 240 dias a partir da data de fabricação.

Local seco e arejado, sobre estrado elevado do solo em pilhas com, no máximo, 1,50m de altura, em sua embalagem original fechada.

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção

Matriz: Via de Acesso João de Goes, 2.127 – Jandira/SP – Brasil – CEP 06612-000

Tel.:55 (11) 2196-8000 – Fax: 55 (11) 2196-8301 – SAC: 0800 709 6979 www.weber.com.br



produtos
quartzolit



chapisco rolado quartzolit

Argamassa pronta para chapisco

1. Descrição:

Argamassa pronta para chapisco formulada à base de cimento Portland, polímeros, agregados minerais, aditivos especiais que, quando misturados, resultam numa argamassa de fácil aplicação com rolo de textura. Acabamento rolado.

2. Usos:

- Como ponte de aderência para argamassas de revestimento
- Sobre concreto, alvenaria e blocos de EPS em tetos de lajes
- Para criar uma superfície rugosa que favoreça a ancoragem do revestimento
- Para regularizar a absorção do suporte, evitando variações no revestimento decorrentes de cura diferenciada sobre concreto, alvenaria e juntas de assentamento
- Superfícies de concreto liso ou rugoso
- Alvenarias em blocos de concreto ou blocos cerâmicos

3. Vantagens:

- Fácil aplicação com rolo de textura alta
- Alta aderência
- Não decanta no recipiente
- Liberação rápida para aplicação do revestimento
- Elevado rendimento, reduzindo o desperdício
- Maior produtividade
- Basta misturar com água, não havendo necessidade de misturas com aditivos líquidos

4. Instruções de uso:

Verifique a temperatura de trabalho, sendo adequada:

Do ar ambiente: de 5 °C a 40 °C

Da superfície da base: de 5 °C a 27 °C (para temperaturas superiores a 27 °C, recomenda-se borrifar água limpa para torná-la fria).

4.1. Cuidados na aplicação:

Proteja peças de alumínio, pois podem manchar se atingidas por **chapisco rolado quartzolit** no momento da aplicação. Evite a aplicação sobre superfícies que estejam sob exposição direta do sol pleno ou se houver risco de chuva. Verifique suas ferramentas de trabalho. Utilize EPIS.

4.2. Preparo da base:

No caso de estruturas de concreto, após a desforma, remova com escova ou disco de fios de aço a poeira, películas e resíduos existentes na superfície. Lave abundantemente com jato d'água após a escovação. O concreto deverá estar curado por mais de 28 dias. No caso de alvenarias, preencha as falhas entre as juntas de assentamento. A alvenaria deve ter sido realizada há, pelo menos, 14 dias. Para



produtos
quartzolit



aplicação do produto, a superfície da base deve estar firme, seca e absolutamente limpa, sem pós, óleos, tintas ou quaisquer materiais que impeçam a boa aderência do **chapisco rolado quartzolit**. Umedeça a base para evitar que a argamassa resseque prematuramente. Verifique o local de aplicação para definir o rolo de textura alta adequado. Após a primeira hora da aplicação, umedeça a argamassa de chapisco, para garantir a hidratação do cimento contido na argamassa.

4.3. Mistura:

Em um recipiente estanque, limpo, protegido do sol, vento e chuva, misture água aos poucos, na proporção indicada na embalagem, a todo o conteúdo de um ou mais sacos, até se obter uma consistência pastosa e firme, sem grumos secos. A mistura pode ser manual ou mecânica, com misturador de eixo horizontal, betoneira ou com haste metálica acoplada a uma furadeira profissional de baixa rotação. Deixe em repouso durante 3 minutos e misture novamente antes do uso. Utilize a argamassa após sua mistura no prazo de, no máximo, 2 horas (em temperatura ambiente até 20 °C; acima dessa temperatura, o prazo será reduzido).

4.4. Aplicação:

Utilize rolo de textura alta. Umedeça o rolo antes da aplicação. Mergulhe o rolo no recipiente de mistura e retire o excesso de argamassa. Estenda a argamassa sobre a base com movimentos de vaivém (aproximadamente 60 cm), de baixo para cima, cobrindo uniformemente a base. O acabamento deverá ser rugoso, com espessura regular de, no mínimo, 3 mm em áreas externas. Para aplicações externas ou locais sujeitos à ação do sol ou vento, umedeça a argamassa aplicada há mais de uma hora para garantir a hidratação do cimento contido na argamassa.

4.5. Limitações de uso:

Não aplique em superfícies metálicas, de madeira ou revestimentos orgânicos.

4.6. Cura:

Aplicação do revestimento sobre o chapisco:

Gesso ou argamassa de gesso: após 4 horas

Argamassa à base de cimento e cal: após 24 horas

chapisco rolado quartzolit deve receber revestimento, no máximo, até 28 dias após a sua aplicação.

5. Propriedades e características:

Densidade aparente	1,6 g/cm ³
Densidade fresca	1,9 g/cm ³
Resistência à aderência (aos 28 dias) sobre concreto curado há 28 dias	≥ 0,5 MPa
Resistência à aderência (aos 28 dias) sobre bloco de concreto	≥ 0,5 MPa
Tempo em aberto para lançamento a 20 °C	2 horas



produtos
quartzolit



6. Consumo:

Base de concreto liso	± 1,2 kg/m ²
Base de alvenaria	± 1,4 kg/m ²
Fachada	± 1,8 kg/m ²

7. Fornecimento e armazenagem:

chapisco colante quartzolit é fornecido em sacos de plástico de 20 kg.

Armazene em local seco e arejado, sobre estrado elevado do solo, em pilhas com no máximo 1,5 m de altura, em sua embalagem original fechada. Sua validade é de 8 meses a contar da data de fabricação impressa na embalagem.

8. Precauções:

As medidas de higiene e de segurança do trabalho, as restrições quanto à exposição ao fogo e as indicações de limpeza e de disposição de resíduos devem seguir as recomendações constantes na FISPQ do produto.

IMPORTANTE: O rendimento e o desempenho do produto dependem das condições ideais de preparação da superfície/substrato onde será aplicado e de fatores externos alheios ao controle da **Weber**, como uniformidade da superfície, umidade relativa do ar e ou de superfície, temperatura e condições climáticas, locais, além de conhecimentos técnicos e práticos do aplicador, do usuário e de outros. Em função destes fatores, o rendimento e o desempenho do produto podem apresentar variações.

Documento revisado em abril de 2015



produtos
quartzolit



chapisco colante quartzolit

Argamassa adesiva para chapisco

1. Descrição:

Argamassa adesiva para chapisco. Apresenta resistências mecânicas superiores a um chapisco convencional. Tem como função formar uma ponte de aderência para as argamassas de revestimento. Acabamento desempenado.

2. Usos:

- Aplicações sobre superfícies de concreto, como tetos, pilares e vigas

3. Vantagens:

- Aplicação sobre concreto
- Alta aderência
- Maior resistência
- Base para argamassa de revestimento

4. Instruções de uso:

Verifique a temperatura de trabalho, sendo adequada:

Do ar ambiente: de 5 °C a 40 °C

Da superfície da base: de 5 °C a 27 °C.

4.1. Cuidados na aplicação:

Proteja peças de alumínio, pois podem manchar se atingidas por **chapisco colante quartzolit** no momento da aplicação. Evite a aplicação sobre superfícies que estejam sob exposição direta do sol pleno ou se houver risco de chuva. Verifique suas ferramentas de trabalho. Utilize EPIs.

4.2. Preparo da base:

No caso de estruturas de concreto, após a desforma, remova com escova ou disco de fios de aço a poeira, películas e resíduos existentes na superfície. Lave abundantemente com jato d'água após a escovação. O concreto deverá estar curado por mais de 28 dias. No caso de alvenarias, preencha as falhas entre as juntas de assentamento. Para aplicação do produto, a superfície da base deve estar firme, seca e absolutamente limpa, sem pós, óleos, tintas ou quaisquer materiais que impeçam a boa aderência do **chapisco colante quartzolit**. Umedeça a base para evitar que a argamassa resseque prematuramente. Verifique o local de aplicação para definir o rolo de textura alta adequado. Após a primeira hora da aplicação, umedeça a argamassa de chapisco, para garantir a hidratação do cimento contido na argamassa.

4.3. Mistura:

Em um recipiente estanque, limpo, protegido do sol, vento e chuva, misture água aos poucos, na proporção indicada na embalagem, a todo o conteúdo de um ou mais sacos, até se obter uma consistência pastosa e firme, sem grumos secos. A mistura pode ser manual ou mecânica, com misturador de eixo horizontal, betoneira ou com haste metálica acoplada a uma furadeira profissional



produtos
quartzolit



de baixa rotação. Deixe em repouso durante 3 minutos e misture novamente antes do uso. Utilize a argamassa após sua mistura no prazo de, no máximo, 2 horas (em temperatura ambiente até 20 °C; acima dessa temperatura, o prazo será reduzido).

4.4. Aplicação:

Umedeça a base e aplique o **chapisco colante quartzolit** com o lado liso de uma desempenadeira denteada de 6 x 6 x 6 mm, com espessura de, no mínimo, 3 mm. Passe o lado denteado da desempenadeira retirando o excesso de produto e formando cordões. Umedeça áreas expostas ao sol e ao vento 1h após a aplicação. Aguarde 48 h para a aplicação do emboço.

5. Propriedades e características:

Densidade aparente	1,7 g/cm ³
Densidade fresca	1,9 g/cm ³
Desempenho do produto – aderência	28 dias ≥ 0,5MPa
Consumo	± 4,20 kg/ m ²

6. Fornecimento e armazenagem:

chapisco colante quartzolit é fornecido em sacos de 20 kg.

Armazene em local seco e arejado, sobre estrado elevado do solo, em pilhas com no máximo 1,5 m de altura, em sua embalagem original fechada. Sua validade é de 8 meses a contar da data de fabricação impressa na embalagem.

7. Precauções:

As medidas de higiene e de segurança do trabalho, as restrições quanto à exposição ao fogo e as indicações de limpeza e de disposição de resíduos devem seguir as recomendações constantes na FISPQ do produto.

IMPORTANTE: O rendimento e o desempenho do produto dependem das condições ideais de preparação da superfície/substrato onde será aplicado e de fatores externos alheios ao controle da **Weber**, como uniformidade da superfície, umidade relativa do ar e ou de superfície, temperatura e condições climáticas, locais, além de conhecimentos técnicos e práticos do aplicador, do usuário e de outros. Em função destes fatores, o rendimento e o desempenho do produto podem apresentar variações.

Documento revisado em abril de 2015

FICHA TÉCNICA CKC-333® - ALVENARIA (PAREDE CORTA-FOGO)

DESCRIÇÃO

O **CKC-333®** é um revestimento intumescente à base de água acrílica, atóxico, inodoro, anti-mofo e anti-fungos, que à aproximadamente 200°C, dá início a um processo de expansão volumétrica, provocando o retardamento da elevação das temperaturas nos substratos tratados.

O sistema desenvolvido com exclusividade, não exige a aplicação de chapisco, emboço e reboco na parede. Apenas a aplicação da tinta intumescente, dentro das especificações desta ficha técnica, asseguram uma elevação do tempo de resistência ao fogo, sem comprometer nenhuma das 3 características que fazem deste sistema, um item de segurança aprovado e aceito por todos os bombeiros do Brasil: integridades, estanqueidade e isolamento térmico. A temperatura média atingida quando chegou-se a 180 minutos na face não-exposta ao fogo, era inferior a 105° C + Temp. Ambiente, quando a permitida pela norma é de 140° C + Temp. Ambiente.

O sistema também obteve a classificação de 240 min (4h) para-chamas, o que em muitos casos, assegura a integridade física por um período superior ao esperado para um sistema simples como o proposto.

NÍVEL DE PROTEÇÃO: Quando ativada pelo calor, a camada de proteção poderá expandir-se em até 60 vezes sua espessura, quando exposta ao fogo.

ENSAIOS e RESULTADOS

- **NBR10.636** – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo
- Os testes comprovam que a aplicação do CKC-333® eleva o tempo de resistência convencional das paredes sem função estrutural, de 90 para 180 minutos com a classificação corta-fogo.

PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Todas as superfícies deverão estar secas, limpas e livres de gorduras e graxas antes da aplicação do produto. Siga as recomendações do fabricante. Para o acabamento desejado, recomendamos testes locais.

APLICAÇÃO

A aplicação da pintura deve respeitar o rendimento ensaiado de 63m² por balde de 18.9 lts. para 2h (120 min) corta-fogo em todas as faces que podem ser expostas ao fogo.

A aplicação da pintura deve respeitar o rendimento ensaiado de 60m² por balde de 18.9 lts. para 3h (180 min) corta-fogo e 4h (240 min) para-chamas em todas as faces que podem ser expostas ao fogo.

Misture bem até obter uma textura homogênea e aplique com pincel, rolo ou spray airless. Não é recomendada a aplicação quando a temperatura estiver inferior a 10° C ou quando a umidade relativa do ar estiver superior a 75%.

PIGMENTAÇÃO E COLORAÇÃO

Nos casos onde se desejar uma cor diferente do branco, pode ser adicionado pigmento à base de água para obtenção de tons pastéis. Para uma coloração mais forte ou cores como o “Vermelho Emergência”, recomendamos que seja aplicado uma tinta à base de água e acrílica após a aplicação do CKC-333®. Esta pintura não afeta o funcionamento do produto antichamas.

ÁREA EXTERNA

Para uso da pintura em áreas externas, é necessária a aplicação de um top coat à base de pintura PU (poliuretano) ou pintura epóxi sobre o CKC-333®. Aguarde o tempo de 24 a 72 horas para a completa cura, antes de aplicar o top coat.

Ciclo de Manutenção:** A verificação deve ocorrer periodicamente. Para ambientes internos 8 anos e para ambientes externos 5 anos.

***O ciclo de manutenção é o período em que o produto resiste dadas as condições de uso frequentes dos substratos tratados. Após este período, recomendamos a reaplicação do produto. O ciclo de manutenção pode variar por uma série de fatores como intempéries, número de circulação de pessoas, umidade do local, impactos mecânicos e desgaste por materiais de limpeza ou agentes químicos.*

RENDIMENTOS

- **Rendimento para atendimento ao tempo de 120 min Corta-Fogo:** 63m²/balde (18.9 lts.).
Aplicar **mínimo de duas demãos** (300ml/m²) ou ~195 microns DFT (Dry Film Thickness)
- **Rendimento para atendimento ao tempo de 180 min Corta-Fogo:** 60m²/balde (18.9 lts.).
Aplicar **mínimo de duas demãos** (315ml/m²) ou ~205 microns DFT (Dry Film Thickness)
- **Rendimento para atendimento ao tempo de 240 min Para-chamas:** 60m²/balde (18.9 lts.).
Aplicar **mínimo de duas demãos** (315ml/m²) ou ~205 microns DFT (Dry Film Thickness).

(O rendimento pode variar dependendo do tipo de porosidade de cada material. Consulte-nos para maiores detalhes.)

Leia atentamente à Ficha Técnica do produto, antes de iniciar a aplicação.

PRÉ-REQUISITOS: A parede onde CKC-333® será aplicado, deve possuir espessura mínima de 19 cm e a pintura deve ser aplicada em todas as faces de onde o fogo/incêndio pode se originar. Não se faz necessário reboco ou chapisco antes da aplicação. Não aplique nenhum revestimento ou material que possa obstruir o funcionamento do CKC-333® em sua superfície.

TEMPO DE CURA: Tempo entre demãos: mínimo de 2 horas

VALIDADE: 24 meses da data de fabricação. Vide data de fabricação na embalagem.

EMBALAGEM DISPONÍVEL: Baldes de 18.9 lts.

EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO: Para sua segurança, utilize máscara de respiração, óculos protetores e luvas de látex durante a aplicação.

A CKC do Brasil não se responsabiliza pelo uso incorreto do produto, bem como por acidentes ocorridos com o mesmo.

Produto distribuído por **CKC do Brasil Ltda** (Brasil).



Working for
a safer world



FISPQ –Ficha de Segurança de Produto Químico

CKC-333®

Número da FISPQ: 333

Páginas: 04

Data da última revisão: 19/07/2016

1. Identificação do Produto e da Empresa

Produto: pintura à prova de fogo à base de água

Código de produto: CKC-333®

Companhia: CKC do Brasil Ltda.

Rua das Rosas, 300- Mirandópolis, São Paulo – SP – Brasil - 04048-000

Telefone: 55-11-5584-6380/fax: 55-11-5585-1409

2. Identificação dos perigos

Classificação do perigo de Hmis

Toxicidade: 0

Inflamável: 0

Reatividade: 0

Proteção pessoal B

Escala baixo 1

Moderado: 2

Elevado: 3

Extremo: 4

Vista geral Emergência : Nenhum

Efeitos sanitários potenciais:

Geral: Nenhum perigo.

Inalação: Pode conduzir à irritação da garganta e dos pulmões.

Ingestão: Nenhum

Contato de pele: Não causa a irritação em contato direto a pele.

Olhar diretamente nos olhos: Irritação da causa de maio em cima do contato direto.

3. Composição e informação sobre os ingredientes

Ingrediente	CAS No.	%
Polifosfato de amônia	68333799	35 ~ 50%

Melamina	108781	10 ~ 25%
Pentaery thritol	115775	10 ~25%
Resina acrílica		5 ~ 30%
Água		25 ~50%

4. Medidas de primeiros socorros

Inalação:	Remova a pessoa para local com ar fresco.
Ingestão:	Consulte um médico e beba muita água.
Contato de pele:	Lavar com sabão e água.
Contato com os olhos:	Lave imediatamente com a água . Consulte um medico se a irritação persistir.

5. Medidas de combate a incêndio

Fogo:	Não inflamável.
Explosão:	Não considerado para ser um perigo da explosão.
Fogo - meios extinguido:	Não inflamável. Use spray de água.
Informação especial:	Nenhum

6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

Etapas a ser recolhida do derramamento ou do escape.
Manter a ventilação adequada. Impedir derramar ao esgoto. Usar a areia ou outro material para represar ou conter o derramamento.
Armazenar em um recipiente fechado até a eliminação.

7. Manuseio e armazenamento

Manuseio: Manter recipientes firmemente fechados, uma pratica padrão higiênica (não comer, não beber e lavar as mãos em água após o manuseio do produto)
Durante utilização manter local bem arejado.
Armazenamento: Período 24 meses. Entre 5°C ~ 35°C com o recipiente completamente fechado em uma área protegida do sol e chuva.

8. Controles de exposição e proteção individual

Limites de exposição transportados por via aérea: Nenhum
Sistema de ventilação: Um sistema de exaustão local e/ou geral é recomendado manter exposições do empregado.
Limites de exposição transportados por via aérea. A ventilação de exaustão local é geralmente preferível porque pode controlar emissões do contaminador em sua fonte, impedindo a dispersão dela na área de trabalho geral. Consultar por favor ao original do ACGIH, ventilação industrial, um manual de práticas recomendadas, a maioria de edição recente, para detalhes.

EPIs necessários:

Respiradores pessoais: Máscara de poeira do desgaste durante o trabalho.

Proteção de pele: Recomenda-se o uso de luvas protetoras.

Proteção dos olhos: Óculos de proteção do desgaste para evitar o respingo.

9. Propriedades físicas e químicas

Aparência: Líquido branco

Odor: Inodoro

Dados relevantes à segurança: Mudanças no estado físico: Temperature >60°C; após o balde ser aberto.

Ponto instantâneo: Não aplicável

Temperatura de ignição: Não aplicável

Temperatura do auto-ignição: Não aplicável

Cor: Branco; também disponível na escala padrão da cor

Tamanho de partícula: <45µm

Índice contínuo: Acima de 65%

Densidade: 1.20±0.05

Viscosidade: >80 KU (em 25°C)

pH: 7.0±1.0

Mais fino: Água

Temperatura de armazenamento: 5°C ~ 35°C

10. Estabilidade e reatividade

Estabilidade química: Estável sob circunstâncias ordinárias do uso e armazenamento.

Produtos perigosos da decomposição: Gás de amônia. Vinil/monômeros acrílicos se a temperatura for elevada acima de 45°C.

Polimerização perigosa: Não deve ocorrer.

Incompatibilidades: Evolução da amônia sob a elevação Temperatura.

Condições à evitar: alta temperatura (>45°C)

11. Informação Toxicológica

Toxicidade oral aguda (DL50): Nenhum - Categoria 5

Efeito irritante na pele: Categoria 3

Efeito irritante nos olhos: Ligeiramente irritante - Categoria 2B (Efeitos reversíveis)

Sensibilização respiratória - Categoria 1

Mutagenicidade de células germinativas - Classificação baseada nos ingredientes da mistura - Não classificado

Carcinogenicidade - Classificação baseada nos ingredientes da mistura - Não classificado

Toxicidade à reprodução e lactação - Classificação baseada nos ingredientes da mistura - Não classificado

Toxicidade sistêmica para certos órgãos-alvo - exposição única - Não classificada

Toxicidade sistêmica para órgão-alvo específico - exposição repetidas - Não classificada



Segurança máxima contra o fogo



12. Informação ecológica

Efeito ecológico: Toxicidade dos peixes (CL50) - Não classificado

Destino ambiental: Quando liberado no solo, este material não é esperado absorção na água subterrânea. Quando liberado no solo, este material não é esperado evaporar significativamente.

Quando liberado na água, este material não é esperado para evaporar significativamente.

13. Considerações sobre tratamento e disposição

Dispor o desperdício pela operação de descarga sanitária ou pela incineração de acordo com regulamento local apropriados.

14. Informação sobre transporte

Nome de produto: Pintura à prova de fogo

Código de produto: CKC-333®

Tamanho: baldes de 18 lts (peso 25 Kg) em embalagem plástica.

Transporte terrestre: Produto não perigoso, empilhamento máximo de 02 níveis e fixações adequadas

Transportes aéreo: Produto não perigoso, empilhamento máximo de 02 níveis e fixações adequadas

Transporte hidroviário: Produto não perigoso

15. Regulamentações

Bens perigosos da saúde: NÃO

Bens perigosos ambientais: NÃO

Bens perigosos do fogo: NENHUM

16. A outra informação

Aviso do perigo: Nenhum

Cuidados: Evitar o contato com olhos.

Usar com ventilação adequada.

Lavar completamente após a manipulação.

Etiquetar primeiros socorros: Ajudar à pessoa a compreender e aproveitar exatamente do uso do produto dos materiais: Pintura à prova de fogo.

Observação: Esta informação é baseada em nosso estado atual de conhecimento.

Não se deve conseqüentemente interpretar como garantindo o específico propriedades dos produtos descritos ou de sua conformidade para uma aplicação particular.

ANEXO E

Relatórios de Ensaio n. 1 104 956-203 e 1 104 957-203, elaborados pelo IPT.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 104 956-203

CLIENTE: Placo do Brasil Ltda.
Av. Valentina Mello Freire Borestein – Dona Loloya, 333.
CEP: 08735-270 – Mogi das Cruzes/SP.

INTERESSADO: Carlos Amado Britez.

NATUREZA DO TRABALHO: Avaliação da resistência ao fogo em elementos de concreto.

REFERÊNCIA: Orçamento FIPT nº 8457/18 datado de 16.07.2018.

1 OBJETIVO

Comparar sistemas de revestimento aplicados a elementos de concreto armado, quando submetidos a uma curva padrão de incêndio, e verificar o desempenho destes por meio de inspeção visual e evolução das temperaturas internas, tendo como referência um elemento sem qualquer tipo de proteção.

2 MÉTODO UTILIZADO

O ensaio foi realizado submetendo-se quatro elementos de concreto, três com revestimento de proteção e um sem, à exposição ao fogo de extensão e severidade controladas, ou seja, à elevação de temperatura padronizada, estabelecida na norma ISO 834-1, por um período de 120 minutos. A avaliação foi feita por intermédio de inspeção visual (análise do grau/intensidade de *spalling*) e elevação das temperaturas internas, por termopares previamente instalados, inclusive a capacidade de isolamento térmico (controle da temperatura na face não exposta ao fogo), estabelecendo como referência o elemento não revestido. As seguintes referências foram utilizadas:

- ISO 834-1: 1999 - *Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements.*
- Procedimento CETAC-LSFEx-PE-249 – Resistência ao fogo em pilares de concreto sem e com revestimento de proteção.

3 ITEM / MATERIAL

Quatro elementos (corpos de prova) de concreto armado foram moldados no laboratório com as seguintes características em comum:

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

- Dimensões: altura de 2.400 mm, profundidade de 300 mm e largura de 400 mm de largura;
- Resistência característica do concreto à compressão: f_{ck} 25 MPa;
- Armaduras Aço CA 50A: compostas por 10 barras longitudinais (vergalhões) com diâmetro de 16 mm e comprimento de 2.350 mm e 16 estribos com diâmetro de 8 mm e comprimento de 1.360 mm, espaçados a cada 140 mm.
- Cobrimento da armadura na face que foi exposta ao fogo: 15 mm.

Três dos quatros elementos de concreto receberam na face exposta ao fogo revestimentos de proteção contra a ação às altas temperaturas, como indicado abaixo e na Figura 1.

- **Corpo de prova 1** – elemento de concreto armado revestido em uma face com argamassa industrializada à base de cimento. Primeiramente a face do elemento foi limpa e na sequencia aplicado uma camada de chapisco desempenado. Após 15 dias uma camada de argamassa industrializada foi aplicada, com auxílio de desempenadeira e régua, em uma das faces do elemento, de modo a propiciar uma espessura total de, aproximadamente, 25 mm.
- **Corpo de prova 2** – elemento de concreto armado revestido em uma face com argamassa de gesso projetada denominada “Placoplast P80”. Primeiramente a face do elemento foi limpa e na sequencia aplicado uma camada de chapisco rolado. Após 15 dias uma camada de argamassa de gesso projetada foi aplicada, com auxílio de equipamento *airless* e régua, em uma das faces do elemento, de modo a propiciar uma espessura total de, aproximadamente, 10 mm.
- **Corpo de prova 3** – elemento de concreto armado sem revestimento de proteção.
- **Corpo de prova 4** – elemento de concreto armado revestido em uma face com argamassa de gesso formulado denominada “Placoplast M30”. Primeiramente a face do elemento foi limpa e na sequencia aplicado uma camada de chapisco rolado. Após 15 dias, uma camada de argamassa de gesso formulado foi aplicada, com auxílio de desempenadeira e régua, em uma das faces do elemento, de modo a propiciar uma espessura total de, aproximadamente, 10 mm.

Os corpos de prova foram identificados por este Laboratório com o número 1439-18.

Outros detalhes estão apresentados no Anexo A, composto pelo relatório científico fornecido pelo Interessado e no Anexo B, composto por fotos do corpo de prova e do ensaio.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

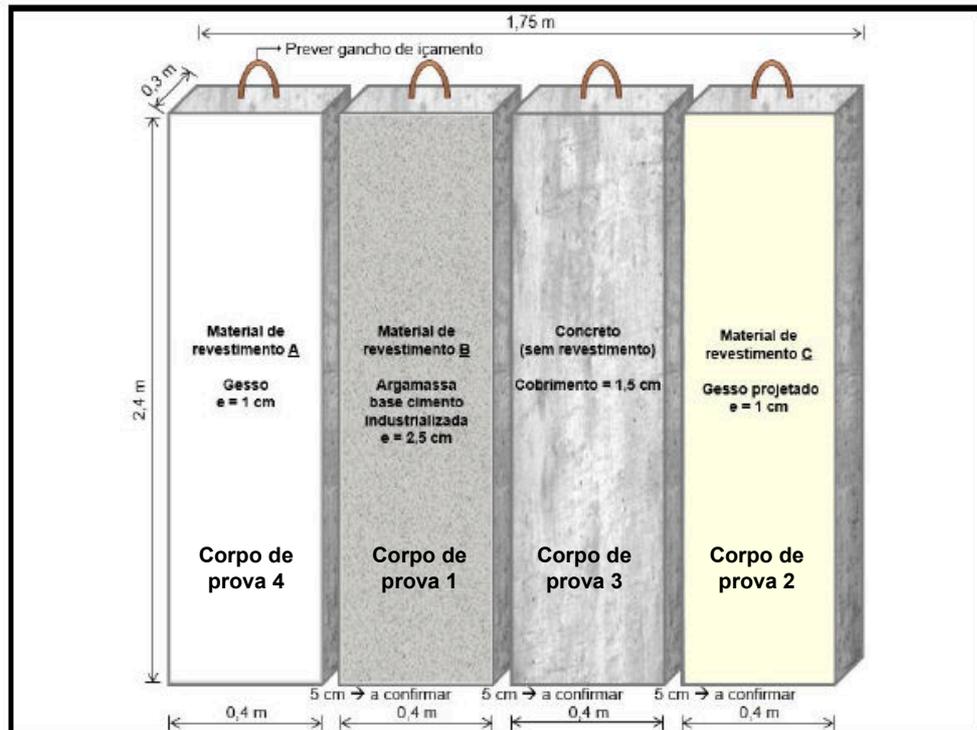


Figura 1 – Elementos de concreto armado sem e com revestimento submetidos ao ensaio

4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Registrador Data Logger TDS 302 (identificação: RE-002; certificado de calibração nº 164723-101, validade: 05.2020).
- Switching Box AS W50C (AC-001, certificado de calibração 164723-101, validade: 05.2020).
- Trena metálica (identificação RG-036, certificado de calibração nº 156260-101, validade: 01.2020).
- Cronômetro digital Technos (identificação: CR-022, certificado nº 15296/17, validade: 09.2020).
- Manômetro de coluna Dwyer MM-80 (identificação: MN-001, certificado calibração nº 154297-101, validade: 10.2018).
- Paquímetro Digital (identificação: PQ-009, certificado de calibração nº 07480-17-DI/SP, validade: 03.2020).

5 FORNO DE ENSAIO (EQ 001)

O forno de ensaio apresenta internamente 2.850 mm de altura, 2.850 mm de largura e 950 mm de profundidade, possuindo revestimento refratário.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

O sistema de aquecimento utiliza cinco queimadores a gás natural, dispostos nas duas paredes laterais, distando 500 mm da parede que contém o corpo de prova e posicionados de maneira que não haja encontro frontal entre eles.

A exaustão dos produtos de combustão é realizada através de conduto com 400 mm de altura e 700 mm de largura, localizado na parte superior da parede oposta ao corpo de prova ensaiado.

6 CONDIÇÕES DE ENSAIO

Ensaio realizado em 30.08.2018 com duração do ensaio de 120 minutos.

Temperatura inicial do ensaio (T_0): 20°C.

6.1 Acondicionamento

O corpo de prova não recebeu acondicionamento especial, permanecendo dentro de ambiente fechado do laboratório, protegido de ventos e chuvas. Os revestimentos foram aplicados nos elementos após 6 meses da concretagem e o ensaio de resistência ao fogo realizado após 6 meses a aplicação dos revestimentos, perfazendo um acondicionamento total de, aproximadamente, 1 ano.

6.2 Medidas de temperatura do forno

A temperatura do forno foi medida através de oito termopares mantidos à distância de 100 mm da face do corpo de prova distribuídos da seguinte maneira: um próximo ao centro geométrico do corpo de prova e os demais nos centros de cada uma das quatro áreas resultantes da divisão da superfície em partes iguais. Os termopares utilizados para esse fim eram de cromel-alumel, isolados com miçangas cerâmicas e protegidos com bainha metálica, tendo os fios condutores diâmetro de 1,2 mm.

6.3 Medidas de temperatura nos elementos de concreto

As medições foram realizadas com a utilização de termopares de cromel-alumel (tipo K) com diâmetro externo de 1,5 mm, isolamento mineral e bainha de inox 316, apresentando comprimento de 2 m e rabicho de extensão de 3 m. Em cada elemento de concreto foram empregados 7 termopares, a saber: três termopares fixados nas armaduras longitudinais mais próximas da face exposta ao fogo e em três cotas diferentes (a um, dois e três quartos da altura do elemento), três no eixo central do elemento e em três cotas diferentes e um na face não exposta ao fogo, na região central deste. A Figura 2 mostra o posicionamento dos termopares, sendo a numeração correspondente aos valores medidos e indicados nas Tabelas 2 e 3.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

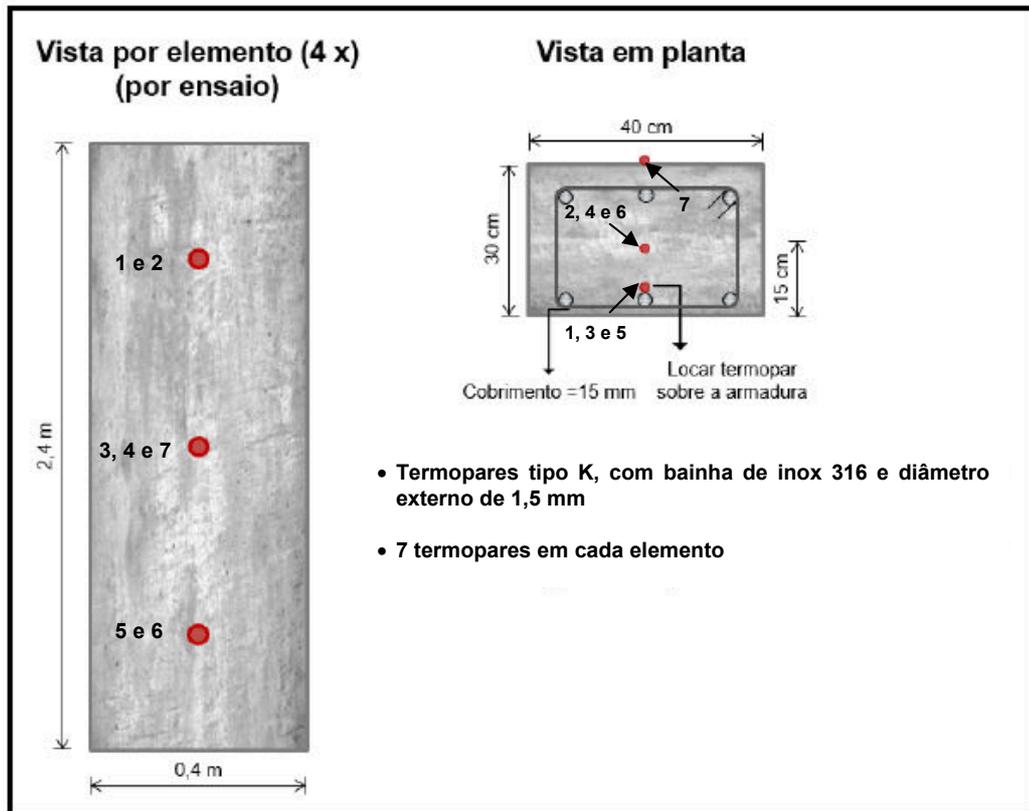


Figura 2 – Localização dos pontos de medida das temperaturas em cada elemento

6.4 Condições de pressão

A pressão no interior do forno foi medida a dois terços da altura do corpo de prova, tendo sido mantida durante todo o transcorrer do ensaio a sobrepessão de 10 Pa.

6.5 Desvios da curva de temperatura do forno

O desvio da área sob a curva de temperatura média do forno, em relação à área sob a curva padrão, está indicado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Desvio da curva de temperatura do forno.

Período de ensaio	Valor alcançado	Valor máximo permitido
Primeiros 10 minutos	~ -14%	±15%
Primeiros 30 minutos	~ -3%	±10%
Após primeiros 30 minutos	~ 0%	± 5%

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

7 RESULTADOS DE ENSAIO

7.1 Temperaturas obtidas nos corpos de prova

As Tabelas 2 e 3 a seguir contém o resultado das medidas de temperatura efetuadas durante o ensaio nos elementos de concreto e a Figura 3 mostra o gráfico de elevação de temperatura de todos os pontos de medição.

A localização dos pontos de medida de temperatura interna do corpo de prova encontra-se detalhada na Figura 2.

Tabela 2: Medidas de temperatura durante o ensaio nos elementos 1 e 2

Tempo (min)	Curva Padrão T - T ₀ (°C)	Temperatura média do forno T-T ₀ (°C)	Temperaturas medidas no interior do corpo de prova (°C)													
			Elemento de concreto 1 – Argamassa cimentícia							Elemento de concreto 2 – Gesso projetado						
			Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7
5	556	498	20	20	20	19	20	19	20	21	20	20	19	19	19	20
10	658	620	25	20	25	19	23	19	20	28	20	26	19	22	19	20
15	719	733	34	20	35	19	31	19	20	38	20	35	19	27	19	20
20	761	761	41	20	44	20	39	19	20	49	20	45	19	34	19	20
25	795	761	47	20	49	20	44	19	20	63	20	54	19	42	19	20
30	822	847	51	20	54	20	49	20	20	79	20	65	19	48	19	20
35	845	810	56	20	59	21	56	20	20	96	21	78	20	54	19	20
40	865	955	64	21	67	22	64	20	20	111	22	90	20	62	20	20
45	882	928	73	22	76	22	74	21	20	123	23	101	21	70	20	20
50	898	946	84	23	86	23	84	22	21	135	25	112	22	80	21	20
55	912	951	95	24	96	25	94	23	21	145	27	121	24	90	22	20
60	925	959	106	25	106	26	104	24	21	152	29	130	25	99	23	20
65	937	968	116	27	115	28	114	25	21	154	32	137	27	108	24	20
70	948	972	125	28	124	30	122	26	21	160	36	144	29	117	25	20
75	959	972	134	30	132	32	130	28	21	172	41	150	32	125	27	21
80	968	1006	142	32	139	34	137	30	21	185	47	154	36	132	28	21
85	977	1009	150	35	147	37	144	32	21	199	52	162	41	139	30	21
90	986	1013	155	39	154	40	149	34	21	213	58	172	47	146	32	21
95	994	1028	158	42	161	44	153	36	21	225	64	182	56	152	35	21
100	1002	1040	161	47	167	49	156	39	22	237	69	193	64	157	38	21
105	1009	1054	167	51	171	56	162	42	22	249	74	203	72	161	42	21
110	1016	1050	175	56	176	64	171	45	22	261	78	214	78	165	46	22
115	1023	1048	185	61	186	73	181	48	23	272	81	225	83	170	51	22
120	1029	1070	195	66	198	87	191	52	23	283	84	236	86	174	57	22

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

Tabela 3: Medidas de temperatura durante o ensaio nos elementos 3 e 4.

Tempo (min)	Curva Padrão T - T _o (°C)	Temperatura média do forno T'-T _o (°C)	Temperaturas medidas no interior do corpo de prova(°C)													
			Elemento de concreto 3 – Sem revestimento							Elemento de concreto 4 – Gesso formulado						
			Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7
5	556	498	34	19	31	19	28	19	20	22	19	21	19	20	19	20
10	658	620	74	19	64	19	53	19	20	29	19	28	19	24	19	20
15	719	733	110	19	107	19	106	19	20	37	19	37	19	31	19	20
20	761	761	135	20	132	19	139	19	20	45	19	45	19	39	19	20
25	795	761	174	22	157	20	172	19	20	52	20	51	19	45	19	20
30	822	847	210	27	193	23	213	20	20	60	20	58	20	53	19	20
35	845	810	245	35	231	31	251	22	20	69	20	67	20	63	20	20
40	865	955	276	43	262	44	280	26	20	79	20	76	20	73	20	21
45	882	928	305	50	291	59	306	30	20	89	21	85	21	83	20	21
50	898	946	333	56	318	89	328	35	21	99	22	94	21	92	21	21
55	912	951	357	61	343	95	349	41	21	108	23	102	22	100	22	21
60	925	959	379	66	365	96	368	46	21	117	24	110	23	107	23	21
65	937	968	400	70	386	97	386	50	21	125	25	118	24	114	24	21
70	948	972	419	75	405	97	403	54	21	133	27	126	26	121	25	21
75	959	972	437	78	422	97	419	58	22	140	28	133	27	128	26	21
80	968	1006	453	82	438	97	434	62	22	147	30	139	28	134	27	22
85	977	1009	468	85	454	97	449	65	22	153	33	145	30	140	29	21
90	986	1013	481	88	468	97	463	68	23	158	36	150	32	145	31	21
95	994	1028	495	91	481	97	477	71	24	163	40	155	34	151	33	22
100	1002	1040	508	94	495	97	489	74	24	167	45	160	36	157	35	22
105	1009	1054	520	97	507	97	502	77	25	174	52	163	39	162	37	22
110	1016	1050	531	101	519	97	513	79	26	183	66	167	42	167	40	23
115	1023	1048	543	104	531	97	524	82	27	194	102	171	45	172	43	23
120	1029	1070	553	108	542	97	534	84	28	206	103	176	49	177	46	23

Observação relativa às tabelas 2 e 3:

- Os termopares de número 1, 3 e 5 foram posicionados na armadura longitudinal, os de número 2,4 a 6 no eixo central e o de número 7 na face não exposta ao fogo.

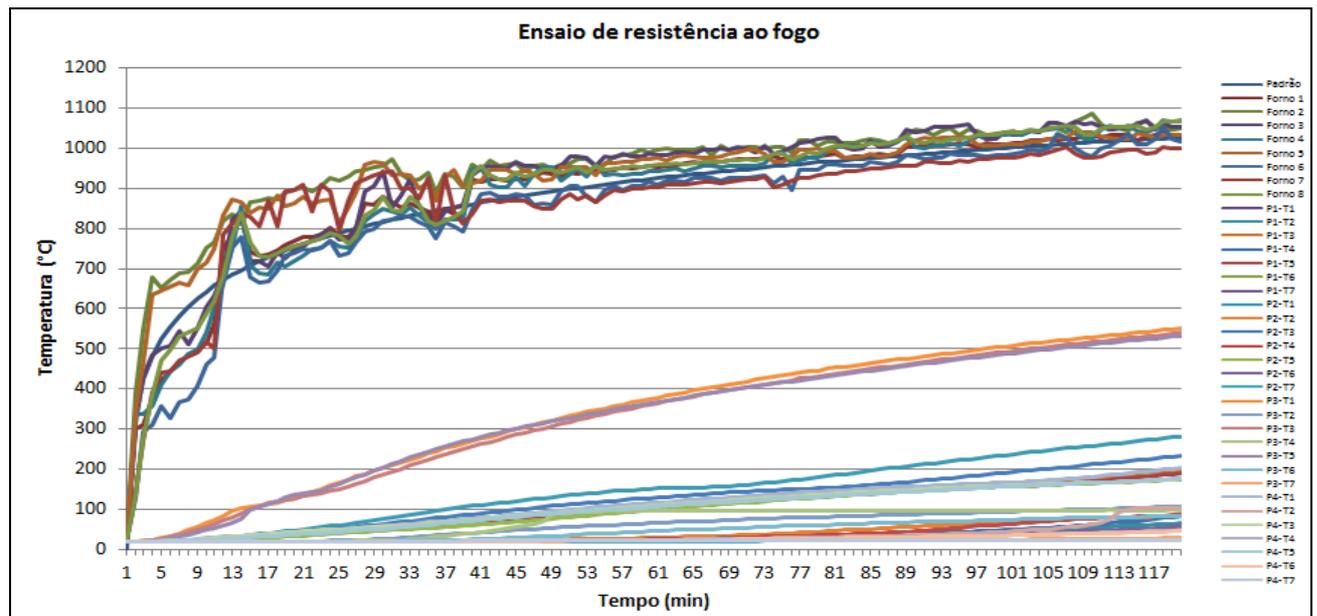


Figura 3: Gráfico das medidas de temperatura obtidas durante o ensaio.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

7.2 Observações de ensaio

A partir de 66 minutos de ensaio ocorreu à liberação de água na face não exposta ao fogo do elemento de concreto 1, próximo ao ponto 7 de medição de temperatura. Este fenômeno perdurou até o final do ensaio.

A máxima temperatura atingida no elemento de concreto sem revestimento (corpo de prova 3), aos 120 minutos de ensaio, foi de 553°C, correspondente ao termopar de número 1 localizado na armadura próxima a face exposta ao fogo. Já as máximas temperaturas alcançadas nos elementos de concreto número 1 (revestido com argamassa cimentícia), número 2 (revestido com gesso projetado) e número 4 (revestido com gesso formulado) foram de, respectivamente, 195°C, 283°C e 206°C, correspondentes as medidas dos termopares localizados no ponto 1. Por sua vez, as temperaturas médias nos termopares posicionados nas armaduras (pontos 1, 3 e 5) foram: 543°C no elemento sem revestimento, 195°C no elemento com argamassa cimentícia, 231°C no elemento com gesso projetado e 186°C no elemento com gesso formulado.

Após 24 horas do término de ensaio, o forno de ensaio foi aberto e verificado lascamentos superficiais distribuídos uniformemente na face exposta ao fogo do elemento sem revestimento, porém sem expor as armaduras da peça. Nos outros elementos foi verificada a queda parcial dos revestimentos e nenhum dano superficial nas faces exposta ao fogo dos elementos protegidos por estes.

8 ANEXOS

Anexo A – Relatório científico fornecido pelo Interessado..... 24 págs.
Anexo B – Fotos do corpo de prova e da realização do ensaio..... 08 págs.

São Paulo, 13 de novembro de 2018.

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Carlos Roberto Metzker de Oliveira
Supervisor do Ensaio
CREA n.º 5061453656 – RE nº 08632

Eng.º Civil Mestre Antônio Fernando Berto
Chefe do Laboratório
CREA nº 0600745569 – RE nº 2467.9

EQUIPE TÉCNICA

Engenheiro Civil Antonio Fernando Berto – IPT
Engenheiro Civil Carlos Roberto Metzker de Oliveira – IPT
Técnico Írio Brogni – IPT
Técnico André Luiz de Souza – IPT

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 104 957-203

CLIENTE: CKC do Brasil Ltda.
Rua das Rosas, 300 – Bairro Mirandópolis.
CEP: 04048-000 – São Paulo/SP.

INTERESSADO: Carlos Amado Britez.

NATUREZA DO TRABALHO: Avaliação da resistência ao fogo em elementos de concreto.

REFERÊNCIA: Orçamento FIPT nº 8450/18 datado de 16.07.2018.

1 OBJETIVO

Comparar sistemas de revestimento aplicados a elementos de concreto armado, quando submetidos a uma curva padrão de incêndio, e verificar o desempenho destes por meio de inspeção visual e evolução das temperaturas internas, tendo como referência um elemento sem qualquer tipo de proteção.

2 MÉTODO UTILIZADO

O ensaio foi realizado submetendo-se quatro elementos de concreto, três com revestimento de proteção e um sem, à exposição ao fogo de extensão e severidade controladas, ou seja, à elevação de temperatura padronizada, estabelecida na norma ISO 834-1, por um período de 120 minutos. A avaliação foi feita por intermédio de inspeção visual (análise do grau/intensidade de *spalling*) e elevação das temperaturas internas, por termopares previamente instalados, inclusive a capacidade de isolamento térmico (controle da temperatura na face não exposta ao fogo), estabelecendo como referência o elemento não revestido. As seguintes referências foram utilizadas:

- ISO 834-1: 1999 - *Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements.*
- Procedimento CETAC-LSFEx-PE-249 – Resistência ao fogo em pilares de concreto sem e com revestimento de proteção.

3 ITEM / MATERIAL

Quatro elementos (corpos de prova) de concreto armado foram moldados no laboratório com as seguintes características em comum:

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

- Dimensões: altura de 2.400 mm, profundidade de 300 mm e largura de 400 mm de largura;
- Resistência característica do concreto à compressão: fck 25 MPa;
- Armaduras Aço CA 50A: compostas por 10 barras longitudinais (vergalhões) com diâmetro de 16 mm e comprimento de 2.350 mm e 16 estribos com diâmetro de 8 mm e comprimento de 1.360 mm, espaçados a cada 140 mm.
- Cobrimento da armadura na face que foi exposta ao fogo: 15 mm.

Três dos quatros elementos de concreto receberam na face exposta ao fogo revestimentos de proteção contra a ação às altas temperaturas, como indicado abaixo e na Figura 1.

- **Corpo de prova 1** – elemento de concreto armado revestido em uma face com argamassa industrializada à base de cimento. Primeiramente a face do elemento foi limpa e na sequencia aplicado uma camada de chapisco desempenado. Após 15 dias uma camada de argamassa industrializada foi aplicada, com auxílio de desempenadeira e régua, em uma das faces do elemento, de modo a propiciar uma espessura total de, aproximadamente, 25 mm.
- **Corpo de prova 2** – elemento de concreto armado revestido em uma face com tinta intumescente denominada “CKC-333”. Primeiramente a face do elemento foi limpa e na sequencia aplicada, com auxílio de rolo, três demãos de tinta intumescente, de modo a propiciar espessura úmida de 540 µm (WFT) e espessura seca de 390 µm (DFT).
- **Corpo de prova 3** – elemento de concreto armado sem revestimento de proteção.
- **Corpo de prova 4** – elemento de concreto armado revestido em uma face com argamassa de gesso denominado “gesso liso lento (popular de mercado)”. Primeiramente a face do elemento foi limpa e na sequencia aplicado uma camada de chapisco rolado. Após 15 dias, uma camada de argamassa de gesso liso foi aplicada, com auxílio de desempenadeira e régua, em uma das faces do elemento, de modo a propiciar uma espessura total de, aproximadamente, 10 mm.

Os corpos de prova foram identificados por este Laboratório com o número 1525-18.

Outros detalhes estão apresentados no Anexo A, composto pelo relatório científico fornecido pelo Interessado e no Anexo B, composto por fotos do corpo de prova e do ensaio.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

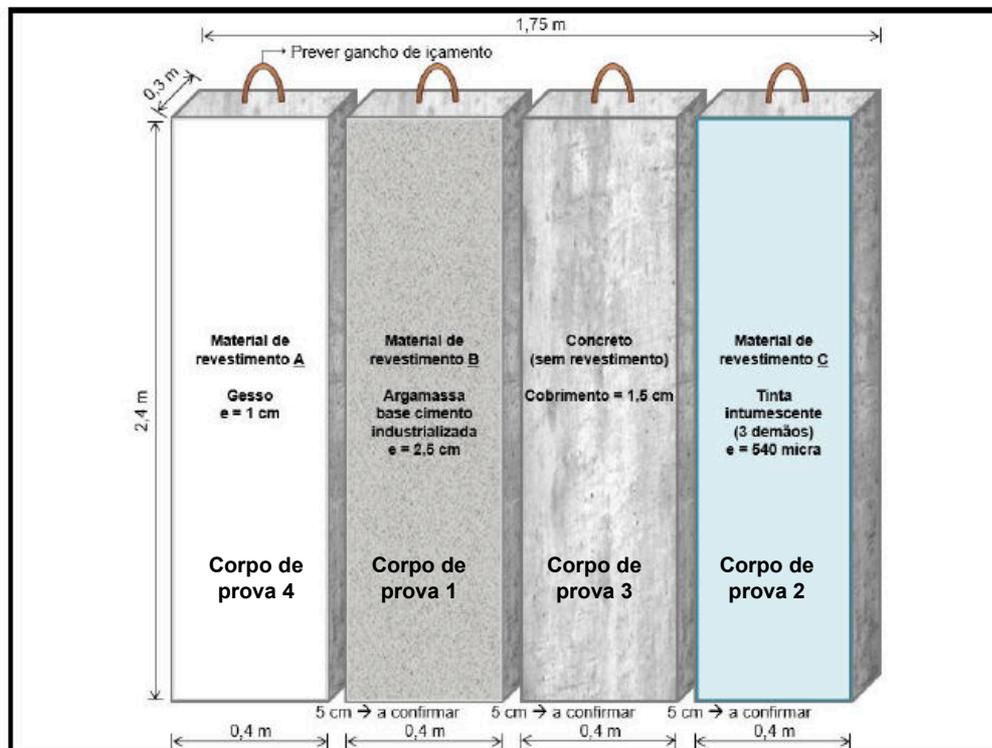


Figura 1 – Elementos de concreto armado sem e com revestimento submetidos ao ensaio

4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Registrador Data Logger TDS 302 (identificação: RE-002; certificado de calibração nº 164723-101, validade: 05.2020).
- Switching Box AS W50C (AC-001, certificado de calibração 164723-101, validade: 05.2020).
- Trena metálica (identificação RG-036, certificado de calibração nº 156260-101, validade: 01.2020).
- Cronômetro digital Technos (identificação: CR-022, certificado nº 15296/17, validade: 09.2020).
- Manômetro de coluna Dwyer MM-80 (identificação: MN-001, certificado calibração nº 154297-101, validade: 10.2018).
- Paquímetro Digital (identificação: PQ-009, certificado de calibração nº 07480-17-DI/SP, validade: 03.2020).

5 FORNO DE ENSAIO (EQ 001)

O forno de ensaio apresenta internamente 2.850 mm de altura, 2.850 mm de largura e 950 mm de profundidade, possuindo revestimento refratário.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

O sistema de aquecimento utiliza cinco queimadores a gás natural, dispostos nas duas paredes laterais, distando 500 mm da parede que contém o corpo de prova e posicionados de maneira que não haja encontro frontal entre eles.

A exaustão dos produtos de combustão é realizada através de conduto com 400 mm de altura e 700 mm de largura, localizado na parte superior da parede oposta ao corpo de prova ensaiado.

6 CONDIÇÕES DE ENSAIO

Ensaio realizado em 05.09.2018 com duração do ensaio de 120 minutos.

Temperatura inicial do ensaio (T_0): 17°C.

6.1 Acondicionamento

O corpo de prova não recebeu acondicionamento especial, permanecendo dentro de ambiente fechado do laboratório, protegido de ventos e chuvas. Os revestimentos foram aplicados nos elementos após 6 meses da concretagem e o ensaio de resistência ao fogo realizado após 6 meses a aplicação dos revestimentos, perfazendo um acondicionamento total de, aproximadamente, 1 ano.

6.2 Medidas de temperatura do forno

A temperatura do forno foi medida através de oito termopares mantidos à distância de 100 mm da face do corpo de prova distribuídos da seguinte maneira: um próximo ao centro geométrico do corpo de prova e os demais nos centros de cada uma das quatro áreas resultantes da divisão da superfície em partes iguais. Os termopares utilizados para esse fim eram de cromel-alumel, isolados com miçangas cerâmicas e protegidos com bainha metálica, tendo os fios condutores diâmetro de 1,2 mm.

6.3 Medidas de temperatura nos elementos de concreto

As medições foram realizadas com a utilização de termopares de cromel-alumel (tipo K) com diâmetro externo de 1,5 mm, isolamento mineral e bainha de inox 316, apresentando comprimento de 2 m e rabicho de extensão de 3 m. Em cada elemento de concreto foram empregados 7 termopares, a saber: três termopares fixados nas armaduras longitudinais mais próximas da face exposta ao fogo e em três cotas diferentes (a um, dois e três quartos da altura do elemento), três no eixo central do elemento e em três cotas diferentes e um na face não exposta ao fogo, na região central deste. A Figura 2 mostra o posicionamento dos termopares, sendo a numeração correspondente aos valores medidos e indicados nas Tabelas 2 e 3.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

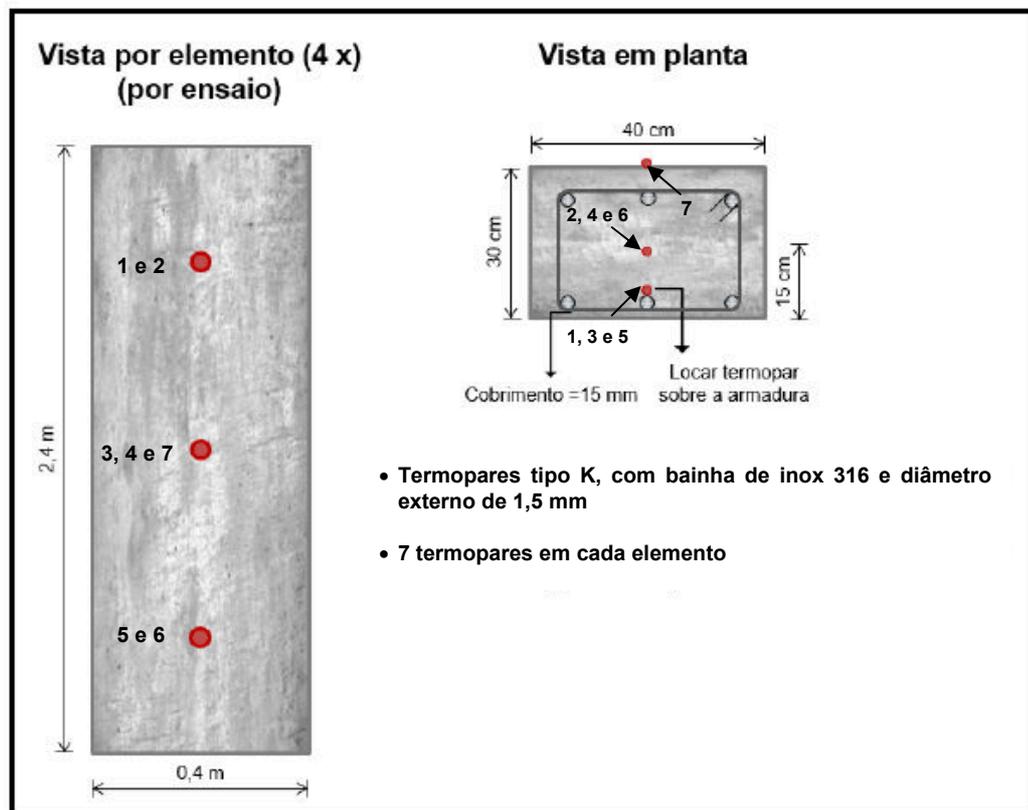


Figura 2 – Localização dos pontos de medida das temperaturas em cada elemento

6.4 Condições de pressão

A pressão no interior do forno foi medida a dois terços da altura do corpo de prova, tendo sido mantida durante todo o transcorrer do ensaio a sobrepessão de 10 Pa.

6.5 Desvios da curva de temperatura do forno

O desvio da área sob a curva de temperatura média do forno, em relação à área sob a curva padrão, está indicado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Desvio da curva de temperatura do forno.

Período de ensaio	Valor alcançado	Valor máximo permitido
Primeiros 10 minutos	~ +2%	±15%
Primeiros 30 minutos	~ +2%	±10%
Após primeiros 30 minutos	~ -2%	± 5%

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

7 RESULTADOS DE ENSAIO

7.1 Temperaturas obtidas nos corpos de prova

As Tabelas 2 e 3 a seguir contém o resultado das medidas de temperatura efetuadas durante o ensaio nos elementos de concreto e a Figura 3 mostra o gráfico de elevação de temperatura de todos os pontos de medição.

A localização dos pontos de medida de temperatura interna do corpo de prova encontra-se detalhada na Figura 2.

Tabela 2: Medidas de temperatura durante o ensaio nos elementos 1 e 2

Tempo (min)	Curva Padrão T - T ₀ (°C)	Temperatura média do forno T'-T ₀ (°C)	Temperaturas medidas no interior do corpo de prova (°C)													
			Elemento de concreto 1 – Argamassa cimentícia							Elemento de concreto 2 – Tinta intumescente						
			Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7
5	556	598	17	17	18	17	17	17	17	24	17	23	16	23	16	16
10	658	656	24	17	28	17	25	17	17	47	17	46	16	51	16	16
15	719	739	33	17	40	17	36	17	17	67	17	65	16	76	16	16
20	761	782	39	17	46	17	42	17	17	85	17	83	17	97	17	16
25	795	810	46	17	52	17	48	17	17	101	18	99	17	113	17	16
30	822	836	54	17	62	17	57	17	17	114	19	115	18	128	19	16
35	845	835	64	18	74	17	68	17	17	126	21	130	20	141	20	16
40	865	826	76	18	86	18	81	17	17	138	23	143	22	148	23	16
45	882	874	88	19	99	19	95	18	17	147	26	150	25	151	27	16
50	898	722	100	20	111	19	106	18	17	154	32	155	31	163	32	16
55	912	869	111	21	121	20	116	19	17	161	39	165	44	182	39	16
60	925	838	122	23	131	21	125	20	17	171	50	178	67	199	48	16
65	937	849	128	24	137	22	129	21	17	176	57	187	74	210	53	16
70	948	871	137	26	147	24	134	22	17	193	67	203	95	228	64	17
75	959	951	144	31	154	26	139	23	17	210	82	218	99	245	75	17
80	968	957	147	40	160	29	144	25	17	226	95	234	99	262	83	17
85	977	982	149	53	165	34	152	28	17	242	98	249	99	278	89	17
90	986	993	157	69	173	42	161	31	17	257	99	264	99	294	93	17
95	994	1005	170	82	185	53	171	34	17	272	99	280	99	310	95	18
100	1002	1022	184	92	198	63	182	38	17	287	100	295	99	326	95	18
105	1009	1026	197	97	212	72	193	42	18	301	100	309	98	342	96	19
110	1016	1011	212	98	226	79	204	47	18	315	99	324	98	358	96	19
115	1023	1017	226	99	241	83	216	52	18	328	99	338	98	373	96	20
120	1029	1033	241	99	255	86	228	57	19	340	99	351	98	386	96	21

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

Tabela 3: Medidas de temperatura durante o ensaio nos elementos 3 e 4.

Tempo (min)	Curva Padrão T - T ₀ (°C)	Temperatura média do forno T'-T ₀ (°C)	Temperaturas medidas no interior do corpo de prova(°C)													
			Elemento de concreto 3 – Sem revestimento							Elemento de concreto 4 – Gesso liso						
			Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7
5	556	598	28	16	36	16	26	16	16	19	17	18	17	18	17	16
10	658	656	72	16	96	16	73	16	16	29	17	29	17	26	16	16
15	719	739	117	16	122	16	117	16	16	38	17	38	17	34	16	16
20	761	782	131	17	151	17	141	17	16	49	17	44	17	41	17	16
25	795	810	154	18	190	19	166	17	16	61	17	51	17	47	17	16
30	822	836	184	21	226	25	201	19	16	74	17	60	17	54	17	16
35	845	835	215	26	259	33	236	21	16	87	17	69	17	63	18	16
40	865	826	243	33	289	41	267	24	16	99	18	78	18	71	18	16
45	882	874	268	43	315	48	294	28	16	111	19	87	19	79	19	16
50	898	722	290	55	340	54	319	33	16	123	20	96	19	87	20	16
55	912	869	313	66	364	59	343	37	17	147	26	107	20	95	21	16
60	925	838	333	75	386	64	365	40	17	221	34	128	22	120	22	16
65	937	849	344	79	397	66	377	43	17	259	37	137	23	134	23	16
70	948	871	363	84	416	70	397	46	18	316	44	181	27	171	26	17
75	959	951	380	90	435	74	415	50	18	359	50	223	33	217	32	16
80	968	957	396	93	453	77	434	53	19	396	57	261	40	259	40	16
85	977	982	412	94	470	80	451	56	20	427	63	295	48	295	48	17
90	986	993	427	94	486	82	467	59	21	455	67	325	55	327	56	17
95	994	1005	441	96	500	85	482	62	22	477	71	351	60	355	64	17
100	1002	1022	455	96	514	87	496	65	23	498	74	375	64	380	70	17
105	1009	1026	468	96	526	89	509	68	24	516	78	396	68	401	74	17
110	1016	1011	480	97	537	92	521	71	25	532	81	415	71	421	77	18
115	1023	1017	491	97	547	94	532	74	26	546	83	431	73	439	80	18
120	1029	1033	501	97	557	97	542	76	27	559	85	447	76	455	84	19

Observação relativa às tabelas 2 e 3:

- Os termopares de número 1, 3 e 5 foram posicionados na armadura longitudinal, os de número 2,4 a 6 no eixo central e o de número 7 na face não exposta ao fogo.

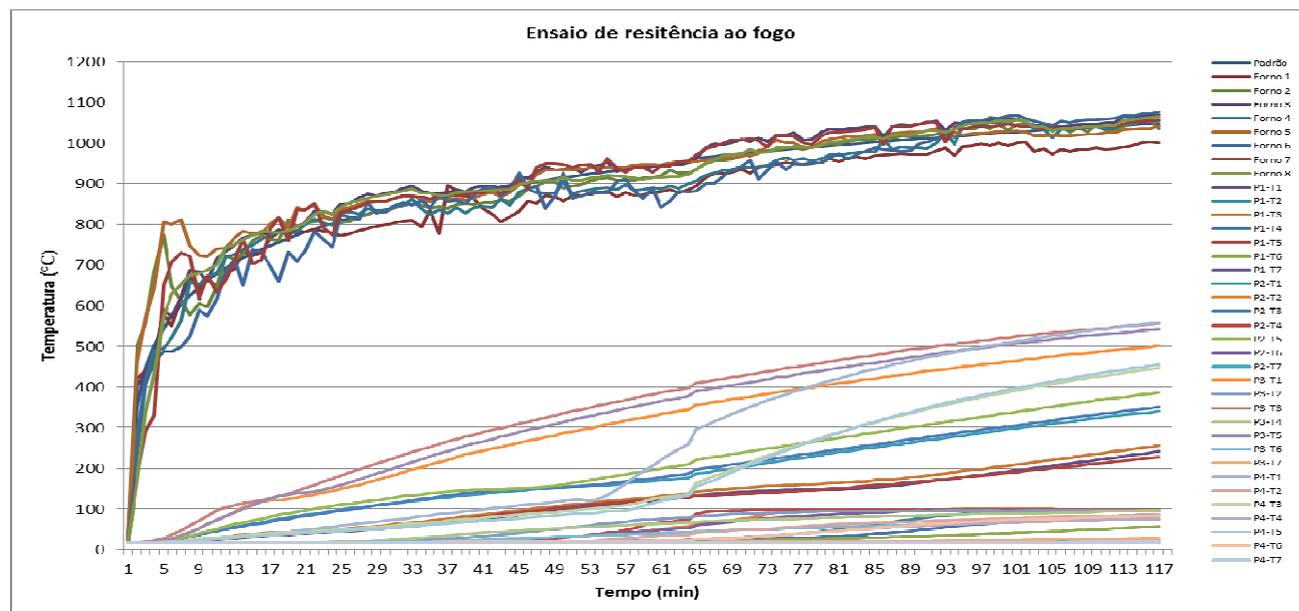


Figura 3: Gráfico das medidas de temperatura obtidas durante o ensaio.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste Relatório, impresso em papel IPT e devidamente assinado, é o único documento referente ao assunto aqui abordado que possui validade legal.

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

7.2 Observações de ensaio

Aos 6 minutos de ensaio foi verificado o início da atuação da tinta intumescente (intumescência propriamente dita). Neste período foi verificado o início de pequenos lascamentos superficiais do elemento de concreto sem revestimento (corpo de prova 3).

Aos 53 minutos de ensaio foi verificada a queda de, praticamente, todo o revestimento de gesso do corpo de prova número 4.

A partir de 72 minutos de ensaio ocorreu à liberação de água na face não exposta ao fogo do elemento de concreto 4, próximo ao ponto 7 de medição de temperatura. Este fenômeno perdurou até o final do ensaio.

A máxima temperatura atingida no elemento de concreto sem revestimento (corpo de prova 3), aos 120 minutos de ensaio, foi de 557°C, correspondente ao termopar de número 1 localizado na armadura próxima a face exposta ao fogo. Já as máximas temperaturas alcançadas nos elementos de concreto número 1 (revestido com argamassa cimentícia), número 2 (revestido com tinta intumescente) e número 4 (revestido com “gesso liso lento popular de mercado”) foram de, respectivamente, 255°C, correspondentes a medida do termopar localizado no ponto 3, 386°C, correspondentes a medida do termopar localizado no ponto 5, e 559°, correspondentes a medida do termopar localizado no ponto 1. Por sua vez, as temperaturas médias nos termopares posicionados nas armaduras (pontos 1, 3 e 5) foram: 533°C no elemento sem revestimento, 241°C no elemento com argamassa cimentícia, 359°C no elemento com tinta intumescente e 487°C no elemento com gesso liso.

Após 24 horas do término de ensaio, o forno de ensaio foi aberto e as seguintes observações em cada elemento verificadas:

- Elemento de concreto sem revestimento – verificação de lascamentos superficiais distribuídos uniformemente na face exposta ao fogo do elemento sem revestimento, porém sem expor as armaduras da peça;
- Elemento de concreto revestido com argamassa cimentícia – a camada de argamassa havia se soltado da peça, permanecendo o chapisco desempenado. Não foi verificado dano superficial na face exposta ao fogo do elemento;
- Elemento de concreto revestido com tinta intumescente – verificação da intumescência da tinta na ordem de 110 a 120 mm em relação à espessura seca de

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

aplicação (390 µm). Não foi verificado dano superficial na face exposta ao fogo do elemento.

- Elemento de concreto revestido com gesso liso – verificação da queda total do revestimento e lascamento superficiais por toda a face exposta ao fogo da peça, sendo a armadura exposta na região superior desta numa área de, aproximadamente, 20%. A máxima profundidade alcançada devido aos lascamentos (*spalling*) foi de, aproximadamente, 27 mm, em relação à superfície exposta ao fogo do concreto.

8 ANEXOS

Anexo A – Relatório científico fornecido pelo Interessado..... 24 págs.
Anexo B – Fotos do corpo de prova e da realização do ensaio..... 08 págs.

São Paulo, 13 de novembro de 2018.

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Carlos Roberto Metzker de Oliveira
Supervisor do Ensaio
CREA n.º 5061453656 – RE nº 08632

Eng.º Civil Mestre Antônio Fernando Berto
Chefe do Laboratório
CREA n.º 0600745569 – RE n.º 2467.9

EQUIPE TÉCNICA

Engenheiro Civil Antonio Fernando Berto – IPT

Engenheiro Civil Carlos Roberto Metzker de Oliveira – IPT

Técnico Írio Brogni – IPT

Técnico André Luiz de Souza – IPT

ANEXO F

Boletim de resultados das análises químicas efetuadas em amostras dos lotes de gesso utilizados no programa experimental (gesso formulado liso, gesso projetado e gesso liso lento popular de mercado).

BOLETIM DE RESULTADOS PRELIMINARES

**CLIENTE: ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.
A/C: CARLOS BRITZ**

NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio químicos, análise termogravimétrica e análise mineralógica.

1 MATERIAIS

Três (03) materiais recebidos no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPT recebido em 11.12.2018. Na Tabela 1 estão descritas informações complementares referentes à identificação do material.

Tabela 1: Dados de identificação dos materiais.

Identificação do Cliente	Dados do LMCC	
	Massa (kg)	N.º
"Amostra de gesso - Lento - Liso"	~ 1	3467-18
"Amostra de gesso - P80 - Projetado"	~ 2	3468-18
"Amostra de gesso - M30 - Liso"	~ 5	3469-18

2 MÉTODOS UTILIZADOS

- *Perda ao fogo:* conforme diretrizes gerais da ABNT NBR NM 18:2012 "Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo", item 5.1 (IPT70 - CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-001 – Revisão 1 de 26.10.2012, Método A);
- *Análise química semiquantitativa por fluorescência de raios-X (FRX):* Procedimento IPT15101 - CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-087 – Revisão 0 de 28.03.2014 "Análise química qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa por espectrometria por fluorescência de raios-X", com base em diretrizes gerais da ABNT NBR 14656:2001;

Nota 1: Utilizou-se espectrômetro de fluorescência de raios-X marca Panalytical modelo Minipal Cement, a partir de pastilhas fundidas em máquina de fusão marca Claisse modelo M4, utilizando-se fundentes à base de mistura de tetraborato de lítio/metaborato de lítio marca MAXXIFLUX (66,57% de $Li_2B_4O_7$, 32,83% de $LiBO_2$ e 0,70% de $LiBr$), com proporção de 1,0 g de amostra e 6,75 g de fundente. Os resultados semiquantitativos são estimados por padrões internos do fabricante utilizando a curva denominada "OMNIAN" e foram normalizados a 100%.

Nota 2: O método utilizado não permite detectar elementos químicos tais como flúor, hidrogênio, hélio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio, oxigênio, prata, rutênio e ródio.

- *Análise termogravimétrica (TG/DTG):* "Análise térmica diferencial e termogravimétrica simultânea", com base em diretrizes gerais da ASTM E 794/06

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras / IPT

(2018) - *Standard Test Method for Melting and Crystallization Temperatures by Thermal Analysis*. (IPT15741 - CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-093 – Revisão 0 de 24.02.2015).

Nota 3: Equipamento utilizado: TA Instruments SDT 2960, empregando-se material passante em peneira ABNT n.º 200 (0,075mm), cadinho de alumina sem tampa; com fluxo de gás de 50 mL/min de nitrogênio e taxa de aquecimento de 10°C/min até 1000°C.

- *Análise mineralógica quantitativa por difratometria de raios-X: Procedimentos IPT15742 - CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-092 - Revisão 0 de 24.02.2015 "Análise mineralógica por difratometria de raios-X" e IPT15458 - CT-OBRAS-LMCC-Q-PE-089 - Revisão 0 de 14.06.2014 - "Determinação da proporção das fases no cimento Portland e no clínquer de cimento Portland usando análise de difração de raios-X de pó – refinamento por método de Rietveld", seguindo diretrizes gerais da ASTM C1365-06 (2011);*

Nota 4: Equipamento utilizado: Panalytical modelo Empyrean com detector Pixel3D, operando na radiação $K\alpha$ do cobre com 45 kV – 40 mA e varredura de 1°/min.

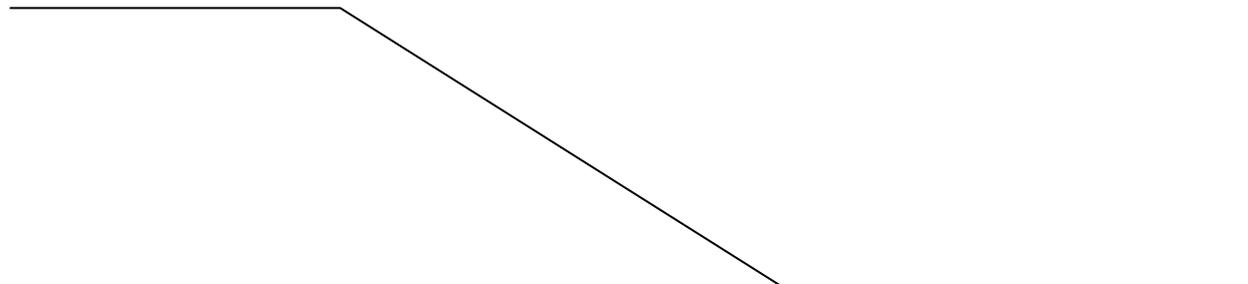
Nota 5: A identificação dos compostos foi executada por meio do software X-pert HighScore Plus [versão 4.6a] da Panalytical e padrões difratométricos e de estruturas fornecidos pelo banco de dados gratuito do COD (Crystallography Open Database)(atualizado em 2017) e, eventualmente, padrões difratométricos e de estruturas do ICDD (International Center for Diffraction Data) e ICSD (International Center for Structure Data), respectivamente.

Nota 6: O indicador estatístico utilizado para verificar os resultados do refinamento foi o GOF (Goodness of Fitting), além do gráfico das diferenças entre os difratogramas observados e calculados. A seguir, estão apresentados alguns dos parâmetros de refinamento utilizados em cada difratograma para obtenção dos percentuais das fases presentes, na respectiva ordem de aplicação: refinamento do fator escala; ajuste da linha base; refinamento da constante do difratômetro (Zero Shift); refinamento da cela unitária das fases maiores; refinamento da cela unitária das fases menores; refinamento do perfil de pico (para fases presentes com mais de 5%); refinamento da orientação preferencial (para compostos suscetíveis).

3 RESULTADOS

3.1 Resultados de análise semiquantitativa por fluorescência de raios-X

Os resultados da análise química semiquantitativa por fluorescência de raios-X e da determinação de perda ao fogo estão apresentados na Tabela 2.



Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Tabela 2: Resultados da análise química semiquantitativa por fluorescência de raios-X.

Determinações	Resultados, em %		
	"Amostra de gesso - Lento - Liso" (LMCC N.º 3467-18)	"Amostra de gesso - P80 - Projetado" (LMCC N.º 3468-18)	"Amostra de gesso - M30 - Liso" (LMCC N.º 3469-18)
Perda ao fogo (PF) ^{Nota 7}	20,9	9,5	9,5
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	39,8	51,8	53,7
Óxido de cálcio (CaO)	32,5	32,2	31,2
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	2,3	1,7	0,8
Óxido de magnésio (MgO)	2,2	0,1	0,2
Anidrido silícico (SiO ₂)	1,9	3,6	3,4
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,2	0,2	0,5
Óxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0,1	0,2	0,2
Óxido de estrôncio (SrO)	0,1	0,1	0,2
Óxido de potássio (K ₂ O)	n.d.	0,4	0,4

Nota 7: Resultado obtido por gravimetria.

Nota 8: Foram detectados elementos com teor inferior a 0,1%, tais como bário (Ba), cobre (Cu), titânio (Ti) e manganês (Mn).

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

3.2 Resultados de análise mineralógica quantitativa por difração de raios-X

Os resultados das análises mineralógicas quantitativas estão apresentados nas Tabelas 3 a 5 e nas Figuras 1 a 3.

Tabela 3: Parâmetros de referência de fichas das estruturas utilizadas, bem como resultados da análise semiquantitativa das fases analisadas da "Amostra de gesso - Lento - Liso" (LMCC N.º 3467-18).

Compostos ou fases mineralógicas	Fórmula molecular	Fichas de estruturas ICDD (código)	Resultados, em %
Bassanita	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	98-007-3263	65,2
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	96-900-1044	22,5
Calcita	CaCO_3	96-901-6707	5,5
Anidrita	CaSO_4	98-001-6382	2,0
Quartzo Alfa	αSiO_2	96-101-1177	1,1
Hornblenda	$\text{Si}_{14,56}\text{Al}_{2,00}\text{Mg}_{6,98}\text{Fe}_{2,66}\text{Ti}_{0,12}$ $\text{Ca}_{3,32}\text{Na}_{1,25}\text{Mn}_{0,04}\text{K}_{0,03}\text{H}_{4,00}$ $\text{O}_{47,60}\text{F}_{0,40}$	96-900-4434	1,0
Olivina	$\text{Fe}_{0,145}\text{Mg}_{1,854}\text{SiO}_4$	98-018-2588	0,8
Crisotila	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	98-041-3633	0,7
Ankerita	$\text{CaFe}_{0,23}\text{Mg}_{0,77}(\text{CO}_3)_2$	98-020-3097	0,7
Zeolita	SiO_2	98-017-0495	0,5

Nota 9: Estruturas convertidas a partir dos padrões difratométricos do ICDD. Cabe ressaltar que tais fichas e estruturas não são necessariamente as únicas possíveis de serem adotadas, podendo assim surgir variação entre resultados obtidos por diferentes laboratórios, mas não distantes dos dados registrados acima.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras / IPT

Tabela 4: Parâmetros de referência de fichas das estruturas utilizadas, bem como resultados da análise semiquantitativa das fases analisadas da "Amostra de gesso - P80 - Projetado" (LMCC N.º 3468-18).

Compostos ou fases mineralógicas	Fórmula molecular	Fichas de estruturas ICDD (código)	Resultados, em %
Bassanita	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	98-007-3263	93,2
Anidrita	CaSO_4	98-001-6382	4,3
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	96-900-0084	1,3
Calcita	CaCO_3	96-900-0967	0,6
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	98-002-7221	0,4
Olivina	$\text{CoMg}_7(\text{SiO}_4)_4$	96-900-6398	0,1
Quartzo	SiO_2	96-900-9667	< 0,1

Nota 10: Idem Nota 9.

Tabela 5: Parâmetros de referência de fichas das estruturas utilizadas, bem como resultados da análise semiquantitativa das fases analisadas da "Amostra de gesso - M30 - Liso" (LMCC N.º 3469-18).

Compostos ou fases mineralógicas	Fórmula molecular	Fichas de estruturas ICDD (código)	Resultados, em %
Bassanita	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	98-007-3263	88,9
Anidrita	CaSO_4	98-018-3917	7,1
Ankerita	$\text{Ca}_{3,15}\text{Fe}_{1,89}\text{Mg}_{0,81}\text{Mn}_{0,15}(\text{CO}_3)_6$	96-900-9592	1,2
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	96-900-0084	1,1
Calcita	CaCO_3	96-900-0967	1,2
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	98-002-7221	0,6
Quartzo Alfa	αSiO_2	98-004-1672	< 0,1

Nota 11: Idem Nota 9.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras / IPT

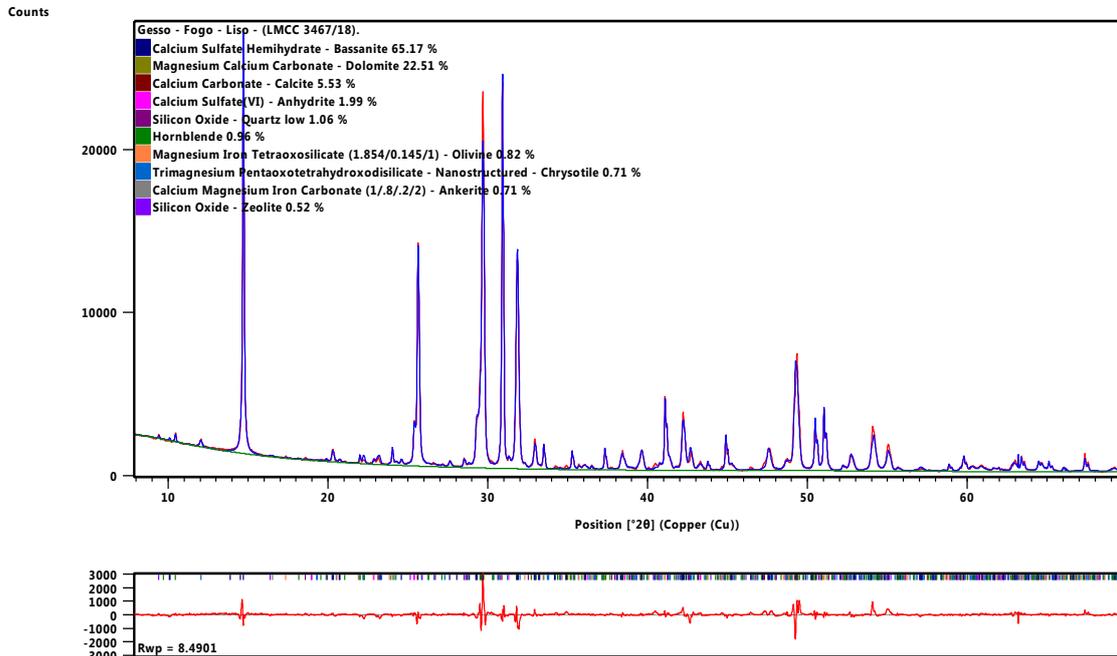


Figura 1: Difratoograma de raios-X da "Amostra de gesso - Lento - Liso" (LMCC N.º 3467-18).

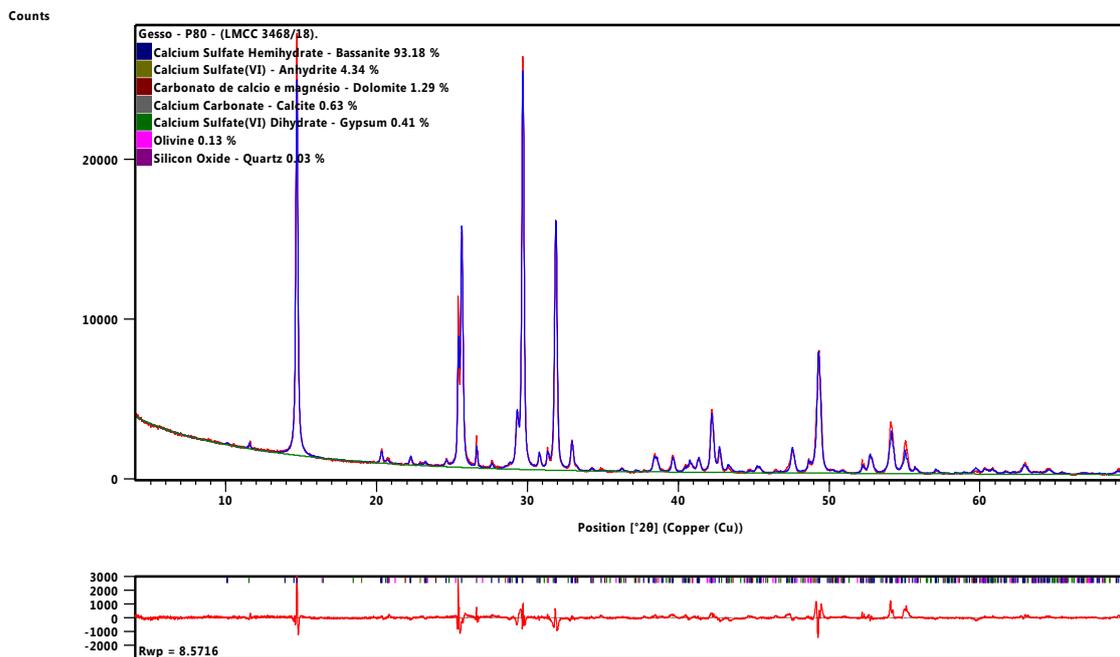


Figura 2: Difratoograma de raios-X da "Amostra de gesso - P80 - Projetado" (LMCC N.º 3468-18).

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

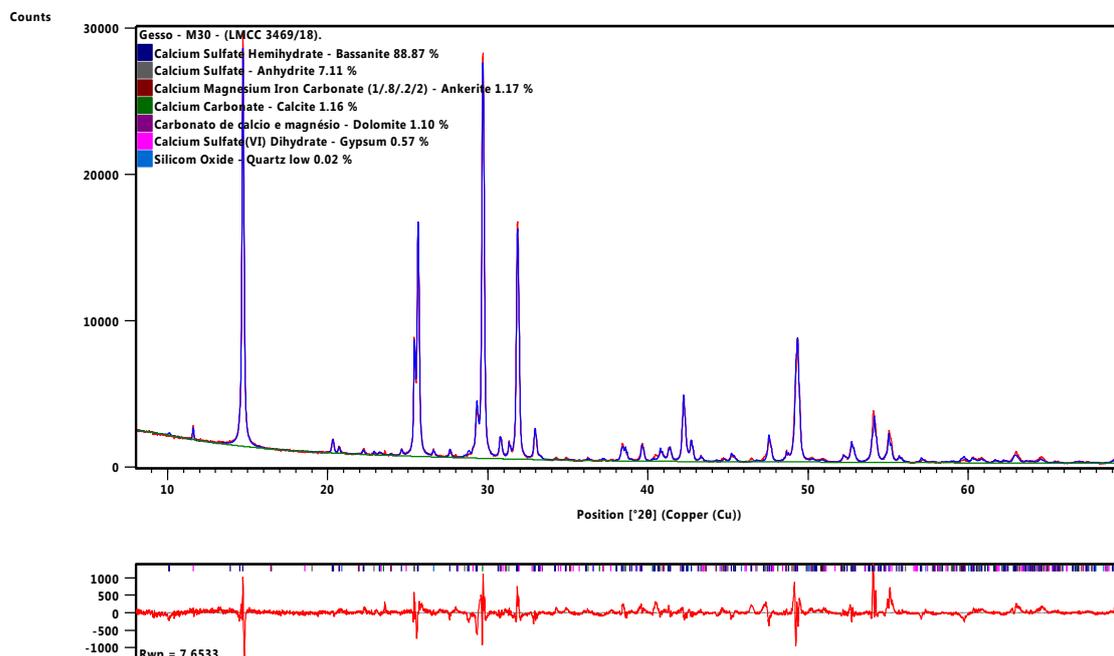


Figura 3: Difratoograma de raios-X da "Amostra de gesso - M30 - Liso" (LMCC N.º 3469-18).

3.3 Análise termogravimétrica (TG)

Os resultados das análises termogravimétricas encontram-se nas Tabelas 6 a 8 e nas Figuras 4 a 6, a seguir.

Tabela 6: Perdas de massa a partir das curvas TG/DTG

Material (LMCC)	Perdas de massa em função da faixa de temperatura				Perda total (%)
	°C	28-69	69-168	168-1000	
"Amostra de gesso - Lento - Liso" (LMCC N.º 3467-18)	°C	28-69	69-168	168-1000	20,0
	%	0,73	3,46	15,8	

Nota 12: Interpretação das perdas de massa em função da faixa de temperatura:

- de 23 – 69°C: início da perda de água livre;
- de 69 – 168°C: final da perda de água livre e água de adsorção;
- de 168 – 1.000°C: descarbonatação de fases carbonatadas.

Tabela 7: Perdas de massa a partir das curvas TG/DTG

Material (LMCC)	Perdas de massa em função da faixa de temperatura				Perda total (%)	
	°C	28-82	82-211	211-934		934-1000
"Amostra de gesso - P80 - Projetado" (LMCC N.º 3468-18)	°C	28-82	82-211	211-934	934-1000	8,70
	%	1,60	5,15	1,61	0,34	

Nota 13: Interpretação das perdas de massa em função da faixa de temperatura:

- de 23 – 82°C: início da perda de água livre;
- de 82 – 211°C: final da perda de água livre e água de adsorção;
- de 211 – 934°C: descarbonatação de fases carbonatadas;
- de 934 – 1000°C: provável início da perda de enxofre.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras / IPT

Tabela 8: Perdas de massa a partir das curvas TG/DTG

Material (LMCC)	Perdas de massa em função da faixa de temperatura						Perda total (%)
	°C	28-78	78-253	253-300	300-934	934-1000	
"Amostra de gesso - M30 - Lento" (LMCC N.º 3469-18)	°C	28-78	78-253	253-300	300-934	934-1000	8,63
	%	1,62	5,22	-0,06	1,58	0,27	

Nota 14: Interpretação das perdas de massa em função da faixa de temperatura:

- de 28 – 78°C: início da perda de água livre;
- de 78 – 253°C: final da perda de água livre e água de adsorção;
- de 253 – 300°C: ganho de massa provável oxidação de elementos metálicos presentes na Ankerita (Tabela 5);
- de 300 – 934°C: descarbonatação de fases carbonatadas;
- de 934 – 1000°C: provável início da perda de enxofre.

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil / CT-Obras / IPT

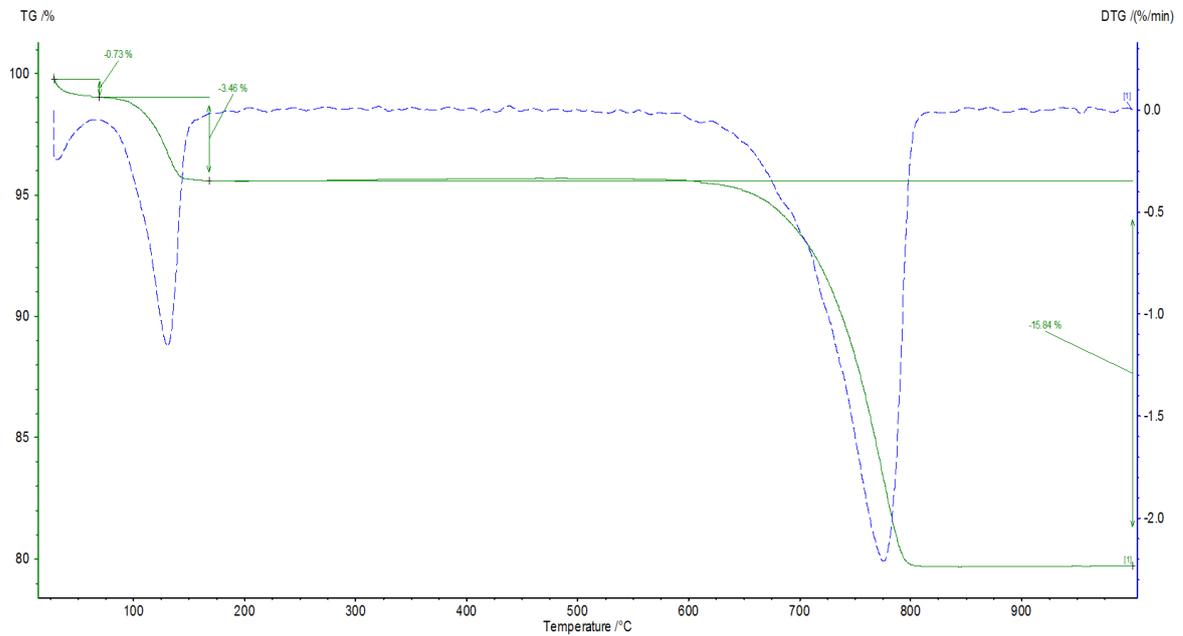


Figura 4: Curvas TG/DTG da "Amostra de gesso - Lento - Liso" (LMCC N.º 3467-18).

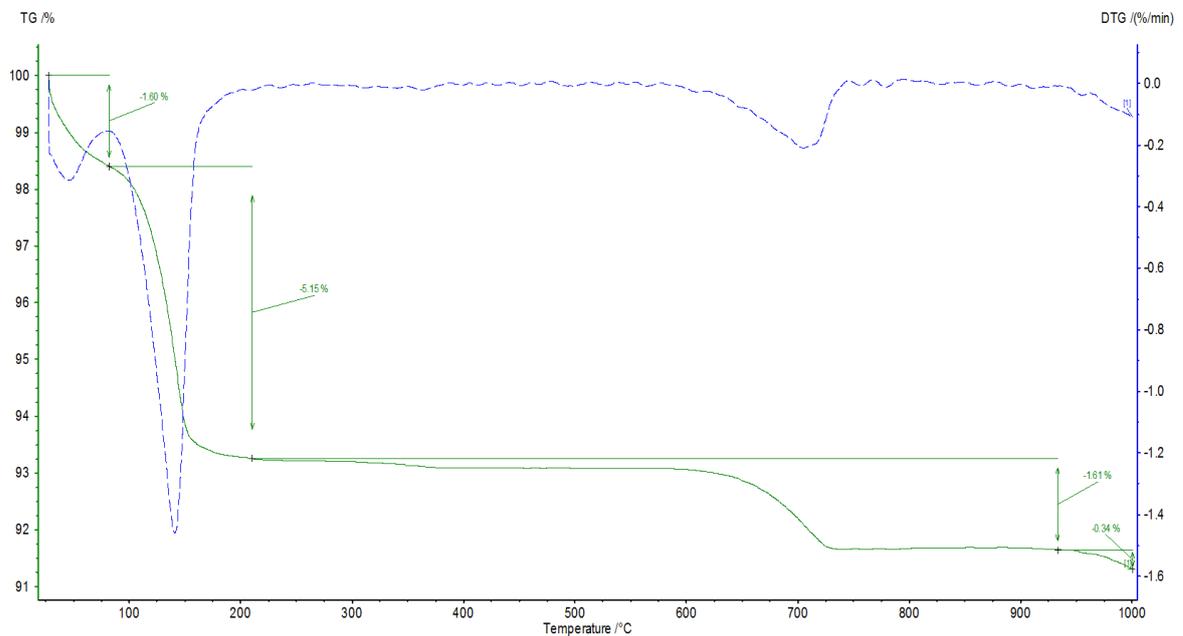


Figura 5: Curvas TG/DTG da "Amostra de gesso - P80 - Projetado" (LMCC N.º 3468-18).

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

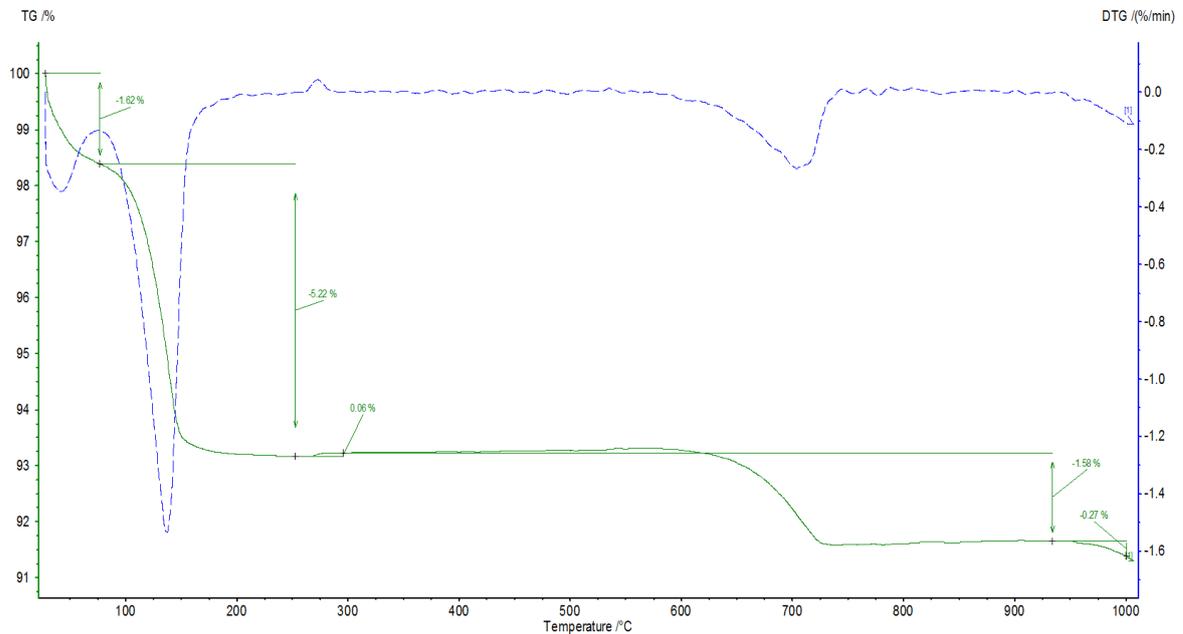


Figura 6: Curvas TG/DTG da "Amostra de gesso - M30 - Lento" (LMCC N.º 3469-18).

EQUIPE TÉCNICA

Engenheiro Químico Sérgio Soares de Lima – IPT

Técnico Químico Jilson Cardoso – IPT

Estagiário Felipe Viana Pereira – IPT

São Paulo, 21 de dezembro de 2018.

ASSINATURAS

Atenção: Este é um arquivo digital para consulta. O original deste relatório de ensaio, impresso com a marca d'água IPT e devidamente assinado, é o único documento que possui validade legal.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.