

Seminário

COMPORTAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS MISTAS AÇO-BETÃO: NOVA METODOLOGIA DE CÁLCULO

Auditório da Sede da Ordem dos Engenheiros em Lisboa
10 de Dezembro



Incêndios reais e ensaios à escala real têm demonstrado que as lajes mistas aço-betão apresentam uma resistência ao fogo superior àquela que resulta do cálculo baseado na avaliação do seu comportamento como elemento estrutural isolado trabalhando essencialmente à flexão. As grandes deformações provocadas pela perda de resistência devido ao aumento da temperatura favorecem o desenvolvimento de esforços de membrana nas lajes, responsáveis pelo aumento da sua resistência ao fogo.

A Universidade de Aveiro e a Ordem dos Engenheiros, no âmbito do projecto Europeu MACS+, envolvendo 19 Países, organizam este seminário que se destina a divulgar uma nova metodologia de cálculo de lajes mistas aço-betão em situação de incêndio que tem em conta os esforços de membrana referidos. Os participantes no seminário receberão documentação e software de cálculo que será objeto de demonstração através da sua utilização a um caso de estudo real. Será também feito o balanço da implementação dos Eurocódigos Estruturais em Portugal, bem como da nova regulamentação de segurança contra incêndios em edifícios.

Programa

14h00 – Receção dos Participantes

14h15 – **Sessão de Abertura**

14h45 – **Os Eurocódigos Estruturais: Estado da sua implementação em Portugal**

- Eng. Carlos Pina, Presidente do LNEC

15h10 – **Balanço da implementação da regulamentação de segurança contra Incêndios em edifícios**

- Dr. Henrique Vicêncio, Autoridade Nacional de Protecção Civil

15h35 – **O comportamento de lajes mistas aço-betão em situação de incêndio: Observação de casos reais**

- Prof. Paulo Vila Real, Universidade de Aveiro

16h00 - Intervalo / Coffee-Break

16h25 – **Fundamentos do método de cálculo**

- Prof. Paulo Vila Real, Universidade de Aveiro

16h50 – **Ensaios experimentais e simulações numéricas**

- Prof. Nuno Lopes, Universidade de Aveiro

17h15 – **Caso de estudo e apresentação de Software**

- Eng. Ricardo Correia

17h40 – **Debate e Conclusões**

18h15 – **Encerramento**

Organização:



Apoios:



Para inscrição consultar site da Ordem dos Engenheiros:

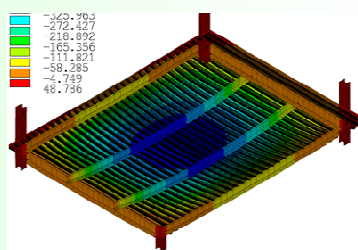
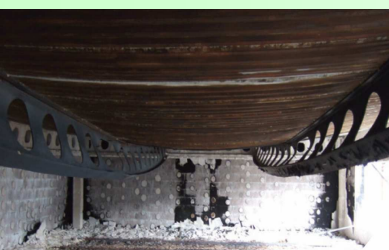
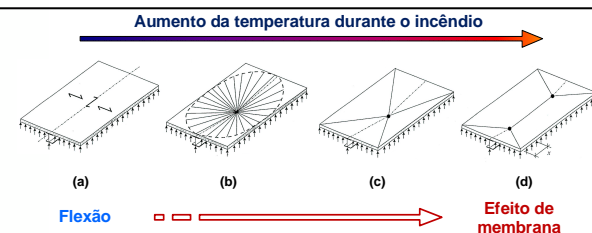
<http://www.ordemengenheiros.pt/pt/agenda/2012/12/>

Morada: Av. António Augusto de Aguiar n.º3D, 1069-030 - Lisboa

Telefone: 213 132 600

Fax: 213 524 632

E-mail: secretariageral@ordemdosengenheiros.pt





Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Introdução



Conteúdos da apresentação



- **Bases do projeto**
- **Parcerias**
- **Agradecimentos**
- **Programa do Seminário**
 - **Formação técnica do método de cálculo simplificado**
 - **Aplicação do método de cálculo simplificado (Manual de Dimensionamento)**
 - **Programa de cálculo de fácil utilização (User-friendly software)**



Bases do projeto

Agradecimentos

Programa do
seminário

- **Novo método de cálculo simplificado (1)**
 - Ensaaios ao fogo à escala real revelaram que o desempenho de sistemas globais de pavimentos mistos em situação de incêndio poderia ser muito superior do que o obtido nos ensaios ao fogo padrão a elementos estruturais isolados
 - **Um novo método inovador de cálculo simplificado foi desenvolvido com base em ensaios de grande escala (Incêndio natural)**
 - Foram obtidas mais evidências experimentais sobre este bom comportamento sob condições de fogo ISO de longa duração
 - **Este método fornece soluções de resistência ao fogo económicas e robustas para vários edifícios porticados metálicos**



Agradecimentos



Bases do projeto

Agradecimentos

Programa do
seminário

- **Projeto financiado por:**
 - **Comissão Europeia através do programa:**
Fundo de Investigação do Carvão e do Aço
(Research Fund for Coal and Steel)



**Research Fund
for Coal & Steel**



Programa do seminário

Bases do projeto

Agradecimentos

Programa do
seminário

- **Bases de cálculo do método de cálculo simplificado**
 - Desempenho ao fogo de sistemas de pavimento mistos de aço e betão em incêndios reais (ensaios à escala real e incêndios acidentais)
 - **Fundamentos técnicos do método de cálculo simplificado**
 - Novas evidências experimentais derivadas de ensaios de longa duração realizados em fornos sob condições de fogo padrão
 - **Investigação numérica do método de cálculo simplificado**
- **Aplicação das recomendações do método de cálculo simplificado (Manual de Dimensionamento)**
- **Programa de cálculo de fácil utilização (User-friendly software) e casos práticos**



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Os Eurocódigos Estruturais: Estado da sua implementação em Portugal

Carlos Pina

CT 115 - ONS/LNEC
ct115@lneec.pt

**Seminário “Comportamento ao fogo de
estruturas mistas aço-betão: nova
metodologia de cálculo”**

Lisboa, Ordem dos Engenheiros, 10 de dezembro de 2012

Eurocódigos estruturais

Os Eurocódigos Estruturais constituem um conjunto de Normas Europeias (EN) para o projecto de estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia civil, realizadas com diferentes materiais.

Eurocódigos estruturais

- Os Eurocódigos Estruturais constituem documentos de referência a utilizar para a:
- Comprovação da conformidade de projectos de obras de construção com as Exigências Essenciais da Directiva dos Produtos de Construção, em particular com as Exigências Essenciais n.ºs 1 (*Resistência mecânica e estabilidade*) e 2 (*Segurança ao fogo*).
- Determinação das características dos produtos de construção estruturais que se referem àquelas exigências e que façam parte da informação que acompanha a marcação CE daqueles produtos.
- Elaboração de cadernos de encargos para a execução de obras de construção e prestação de serviços de engenharia.

Eurocódigos em Portugal – Anexos Nacionais

- As **NP EN** (xx **EN** nos outros países europeus) correspondem à tradução para português das diferentes Partes dos Eurocódigos e são acompanhadas pelos respectivos **Anexos Nacionais**.
- Nestes Anexos são definidos, nomeadamente, os **Parâmetros Determinados a nível Nacional** (*NDP – Nationally Determined Parameters*), que correspondem a parâmetros deixados em aberto nos Eurocódigos para escolha nacional.

Eurocódigos estruturais

Norma Europeia	Título (simplificado)	N.º de Partes
EN 1990	Eurocódigo – Bases para o projecto	1
EN 1991	Eurocódigo 1 – Acções em estruturas	10
EN 1992	Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão	4
EN 1993	Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço	20
EN 1994	Eurocódigo 4 – Projecto de estruturas mistas aço-betão	3
EN 1995	Eurocódigo 5 - Projecto de estruturas de madeira	3
EN 1996	Eurocódigo 6 – Projecto de estruturas de alvenaria	4
EN 1997	Eurocódigo 7 – Projecto geotécnico	2
EN 1998	Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos	6
EN 1999	Eurocódigo 9 – Projecto de estruturas de alumínio	5

Eurocódigo 1 – Acções em estruturas

- EN 1991-1-1: **Pesos volúmicos, pesos próprios e sobrecargas**
- EN 1991-1-2: Acções em estruturas expostas ao fogo
- EN 1991-1-3: Acções da **neve**
- EN 1991-1-4: Acções do **vento**
- EN 1991-1-5: Acções **térmicas**
- EN 1991-1-6: Acções durante a **construção**
- EN 1991-1-7: Acções de **acidente**

- EN 1991-2: Acções de **tráfego em pontes**
- EN 1991-3: Acções devidas a **gruas e equipamentos**
- EN 1991-4: Acções em **silos e reservatórios**

Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão

- EN 1992-1-1: Regras gerais e regras para **edifícios**
- EN 1992-1-2: Regras gerais – Verificação da resistência ao fogo
- EN 1992-2: **Pontes**
- EN 1992-3: Estruturas de **suporte e reservatórios**

Eurocódigos Estruturais

Evolução a nível europeu

- Iniciativa da Comissão Europeia (1975).
[Joint Committee on Structural Safety (1971) - Prof. Júlio Ferry Borges]
- Passagem para o âmbito do CEN/TC 250 (1989).
- Publicação de 63 Pré-Normas Europeias (ENV) na década de 90.
- Em 1998, o CEN iniciou a transformação das ENV em EN, sob mandato da Comissão Europeia.
- Actualmente, todas as 58 Normas Europeias (EN) que constituem os Eurocódigos Estruturais estão publicadas (disponíveis no IPQ). As últimas normas foram publicadas em Maio de 2007.

Eurocódigos Estruturais

Entidades envolvidas em Portugal

- **Instituto Português da Qualidade**
Publicação dos Eurocódigos como Normas Portuguesas.
- **Comissão Técnica CT 115 – “Eurocódigos Estruturais” do ONS/LNEC**
Representação de Portugal no CEN/TC 250 e preparação dos Eurocódigos para publicação em Portugal.
- **Comissão “Eurocódigos Estruturais”**
Transposição dos Eurocódigos para o quadro regulamentar nacional.
(Comissão que funcionou, até final de 2006, no ex-CSOPT, e foi entretanto transferida para o LNEC)

Eurocódigos Estruturais

Evolução em Portugal

- O LNEC colaborou com a Comissão Europeia na fase inicial.
- O IPQ indicou, em 1990, o LNEC como ONS. Criação da **CT 115**.
- Representantes da CT 115 participaram nas Subcomissões da CEN/TC 250, que prepararam cada um dos Eurocódigos. Para além disso, a CT 115 preparou/está a preparar as versões nacionais dos Eurocódigos.
- Como resultado dessa actividade, foram publicadas, pelo IPQ, 18 das 63 Partes das Pré-Normas Europeias (NP ENV), entretanto substituídas pelas EN.
- Encontra-se actualmente em curso a preparação de um conjunto de 38 Normas Portuguesas (**NP EN**) com os respectivos **Anexos Nacionais**, das quais 19 já foram publicadas pelo IPQ.



NP EN	Título (simplificado)
1990	Bases para o projecto
1991-1-1	Acções – Pesos próprios e sobrecargas
1991-1-2	Acções – Fogo
1991-1-3	Acções – Neve
1991-1-4	Acções – Vento
1991-1-5	Acções – Temperatura
1992-1-1	Betão – Regras gerais
1992-1-2	Betão – Fogo
1993-1-1	Aço – Regras gerais
1993-1-2	Aço – Fogo
1993-1-8	Aço – Ligações
1993-1-9	Aço – Fadiga
1993-1-10	Aço – Tenacidade
1997-1	Projecto geotécnico – Regras gerais
1998-1	Sismos – Regras gerais
1998-5	Sismos – Fundações

***NP EN já publicadas
(2009 e 2010)***

***Conjunto de 16
NP EN que permite
o projecto de
estruturas de
edifícios de betão e
de aço.***

Outras Normas

NP EN	Título (simplificado)
1993-1-5	Aço – Elementos em placa
1994-1-1	Mistas – Regras gerais
1994-1-2	Mistas – Fogo

*NP EN já publicadas
(2011 e 2012)*

*Permite o projecto
de estruturas de
edifícios mistas de
betão e de aço.*

Proposta de Decreto-Lei

Artigo 1.º Projectos de estruturas para edifícios

Na elaboração dos projectos de estruturas para edifícios devem ser cumpridas as normas portuguesas a seguir indicadas:

- a) NP EN 1990:2009 – Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas;
- b) NP EN 1991-1-1:2009 – Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-1:
- c) NP EN 1991-1-2:2010 – Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-2:
- d) NP EN 1991-1-3:2009 – Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-3:
- e) NP EN 1991-1-4:2010 – Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-4:
- f) NP EN 1991-1-5:2009 – Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-5:
- g) NP EN 1997-1:2010 – Eurocódigo 7 – Projecto geotécnico – Parte 1:
- h) NP EN 1998-1:2010 – Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1:
- i) NP EN 1998-5:2010 – Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 5:

Proposta de Decreto-Lei

Artigo 2.º

Projectos de estruturas de betão para edifícios

Na elaboração dos projectos de estruturas de betão para edifícios devem ser cumpridas, para além das normas portuguesas indicadas no artigo 1.º, as normas portuguesas seguidamente indicadas:

- a) NP EN 1992-1-1:2010 – Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- b) NP EN 1992-1-2:2010 – Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-2: Regras gerais – Verificação da resistência ao fogo.

Proposta de Decreto-Lei

Artigo 2.º

Projectos de estruturas de betão para edifícios

Na elaboração dos projectos de estruturas de betão para edifícios devem ser cumpridas, para além das normas portuguesas indicadas no artigo 1.º, as normas portuguesas seguidamente indicadas:

- a) NP EN 1992-1-1:2010 – Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- b) NP EN 1992-1-2:2010 – Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-2: Regras gerais – Verificação da resistência ao fogo.

Proposta de Decreto-Lei

Artigo 3.º

Projectos de estruturas de aço para edifícios

Na elaboração dos projectos de estruturas de aço para edifícios devem ser cumpridas, para além das normas portuguesas indicadas no artigo 1.º, as normas portuguesas seguidamente indicadas:

- a) NP EN 1993-1-1:2010 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios;
- b) NP EN 1993-1-2:2010 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço - Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo;
- c) NP EN 1993-1-5:2012 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço - Parte 1-5: Elementos em placa;
- d) NP EN 1993-1-8:2010 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço - Parte 1-8: Projecto de ligações;
- e) NP EN 1993-1-9:2010 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço - Parte 1-9: Fadiga;
- f) NP EN 1993-1-10:2010 - Eurocódigo 3: Projecto de estruturas de aço - Parte 1-10: Tenacidade dos materiais e propriedades segundo a espessura.

Proposta de Decreto-Lei

Revogações

Procede-se à revogação **parcial** dos Regulamentos de projecto estrutural em vigor.

- a) É revogado o **Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983)**, mas exclusivamente no que diz respeito a estruturas para edifícios.
- b) É revogado, mas exclusivamente no que diz respeito a estruturas de betão para edifícios, o **Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP, 1983)**, incluindo as disposições referentes à execução das estruturas, uma vez que está já em vigor legislação nacional com esse objecto (Decreto-Lei n.º 301/2007, de 23 de Agosto).
- c) É revogado o **Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE, 1986)**, mantendo-se contudo em vigor as disposições referentes à execução e ao controlo de qualidade dessas estruturas, uma vez que os Eurocódigos Estruturais não contemplam essa área.
- d) Por se encontrarem desactualizadas e desenquadradas dos critérios de segurança consagrados nos Eurocódigos, são revogadas as disposições ainda vigentes do **Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos (RSCCS, 1958)**.

Eurocódigos Estruturais

Evolução a nível europeu

- Está a ser negociado entre o CEN e a Comissão um Mandato para a revisão/expansão dos Eurocódigos existentes:
 - a) Redução dos NDP, correção/revisão e simplificação dos Eurocódigos publicados;
 - b) Publicação de novas Partes para o EC 1 (por ex., ações de ondas e correntes em estruturas costeiras)
 - c) Publicação de regras para a avaliação e reforço de estruturas existentes
 - d) Eurocódigo (novo) para estruturas de vidro.

Eurocódigos Estruturais

Evolução a nível europeu

- O *Joint Research Centre* desenvolveu uma **"Helpdesk"** para os Eurocódigos, cujo arranque está previsto para muito em breve.
 - O objetivo da *"Helpdesk"* é o de permitir uma interface entre os utilizadores dos Eurocódigos, os Organismos de Normalização Nacionais e o Comité CEN/TC 250.
 - A *"Helpdesk"* permite aos utilizadores submeter questões aos Organismos de Normalização Nacionais, pesquisar questões já respondidas e consultar a lista de Erratas e Emendas aos Eurocódigos, publicadas e em preparação.
 - Portugal já indicou o seu Contacto Nacional e em breve divulgará os procedimentos que os utilizadores dos Eurocódigos deverão seguir para usar a *"Helpdesk"*.

Informação na Internet

Sugere-se a consulta, entre outros, das seguintes páginas:

- <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>
- <http://www.lnec.pt/qpe/eurocodigos>

<http://www.lnec.pt/qpe/eurocodigos>

NOTA PRÉVIA

SITUAÇÃO NA EUROPA

- Antecedentes e enquadramento
- Programa de publicação
- [Eurocódigos publicados pelo CEN. Ponto da situação](#)
- O papel de três actores a nível europeu: A Comissão Europeia, o Comité Técnico CEN/TC 250 e o Joint Research Centre (JRC)
- Desenvolvimentos futuros
- Datas relevantes

SITUAÇÃO EM PORTUGAL

- Antecedentes e enquadramento
- [Eurocódigos publicados pelo IPQ. Ponto da situação](#)
- A Comissão Técnica de Normalização CT 115 - Eurocódigos Estruturais
- Os Eurocódigos e a regulamentação portuguesa de estruturas

[ACÇÕES DE DIVULGAÇÃO E FORMAÇÃO](#)

[PUBLICAÇÕES](#)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Obrigado



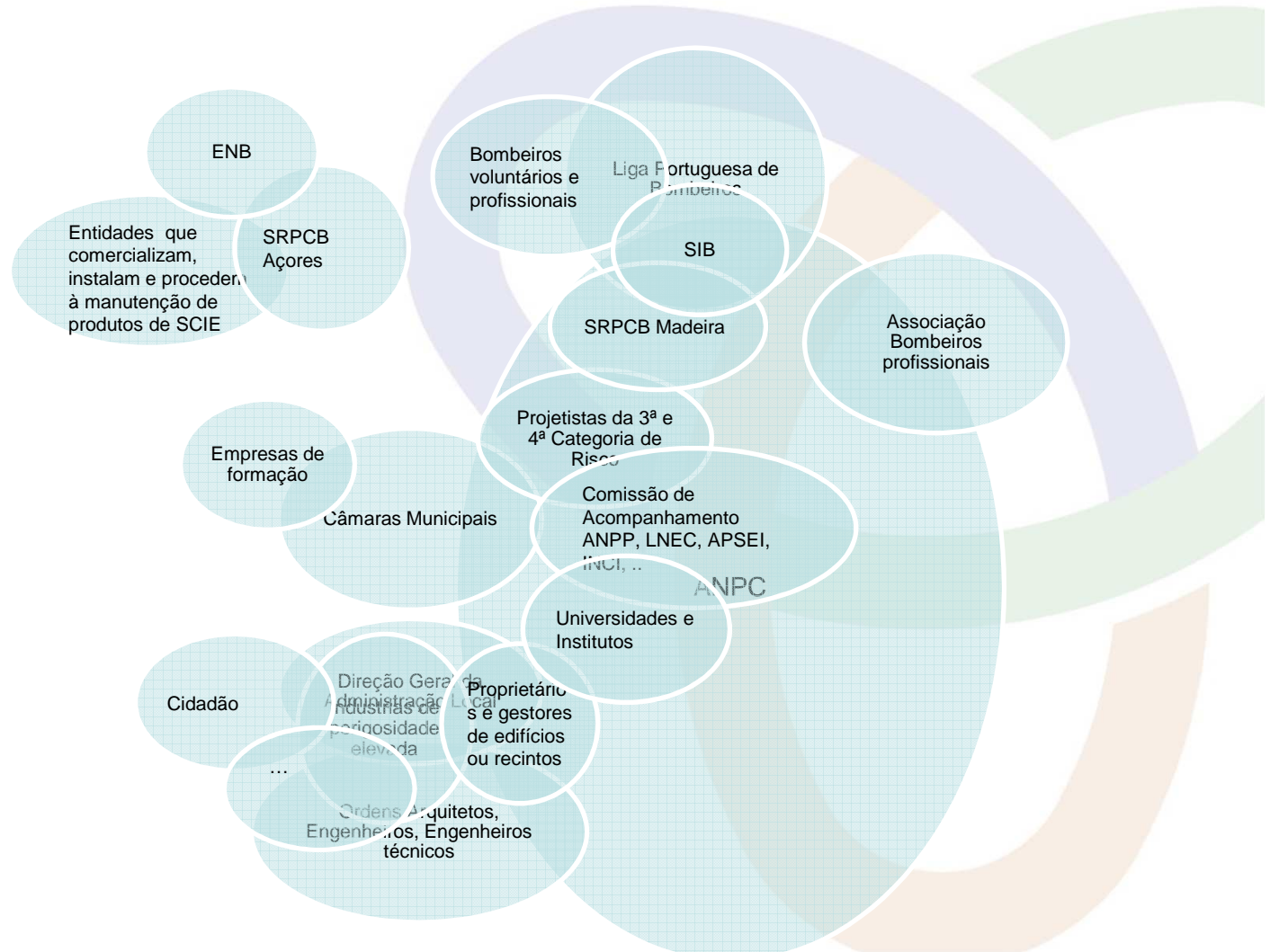
Balanço da Implementação da Regulamentação de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

Henrique Vicêncio
Autoridade Nacional de Protecção Civil

Articulado

- **Decreto Lei 220/2008 de 12 de Novembro**
- **Portaria 1532/2008 de 29 de Dezembro**
- **Portaria 64/2009 de 22 de Janeiro, alterada pela Portaria 136/2011 de 5 de Abril- Regime de Credenciação**
- **Portaria 610/2009 de 8 de Junho - Funcionamento do sistema informático**
- **Portaria 773/2009 de 21 de Julho - Registo na ANPC**
- **Portaria 1054/2009 de 16 de Setembro - Taxas por serviços de SCIE prestados pela ANPC**
- **Despacho 5533/2010 de 26 de Março - Comissão de acompanhamento**

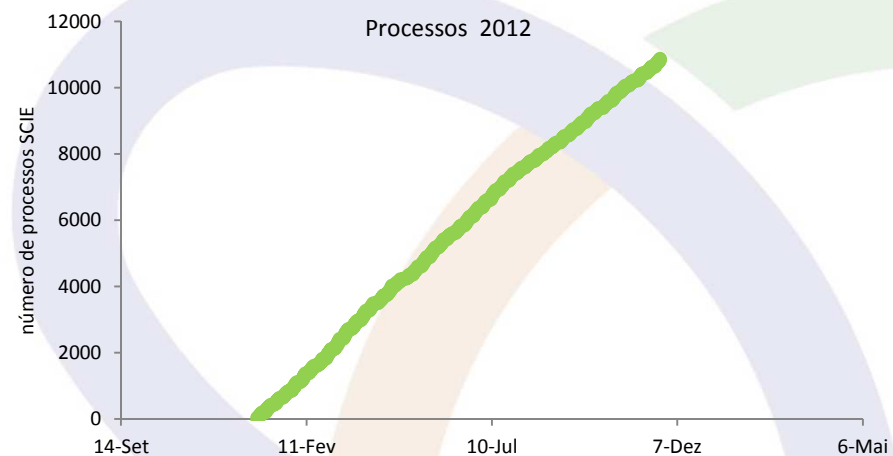
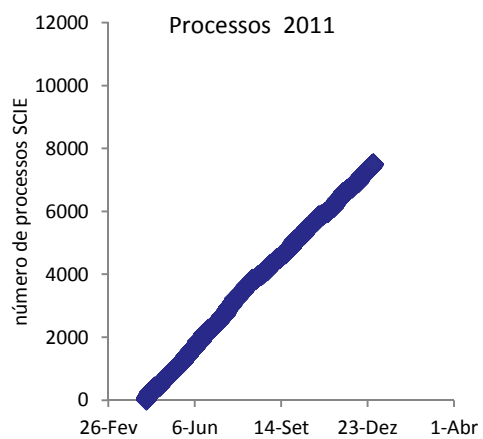
Universo



Erros

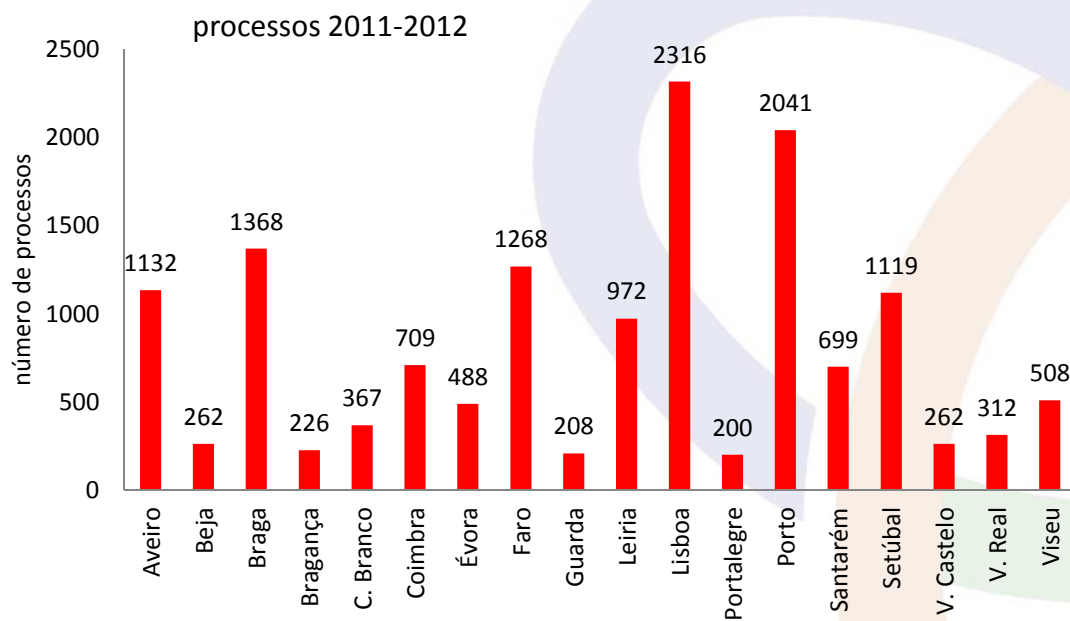
- **Trabalho efetuado pela Comissão de Acompanhamento proposta de correção do DI 220 e Portaria 1532 submetida em Janeiro de 2011**
- **Mais recentemente em Maio de 2012 foi solicitado urgência na correção dos erros**

Estatísticas

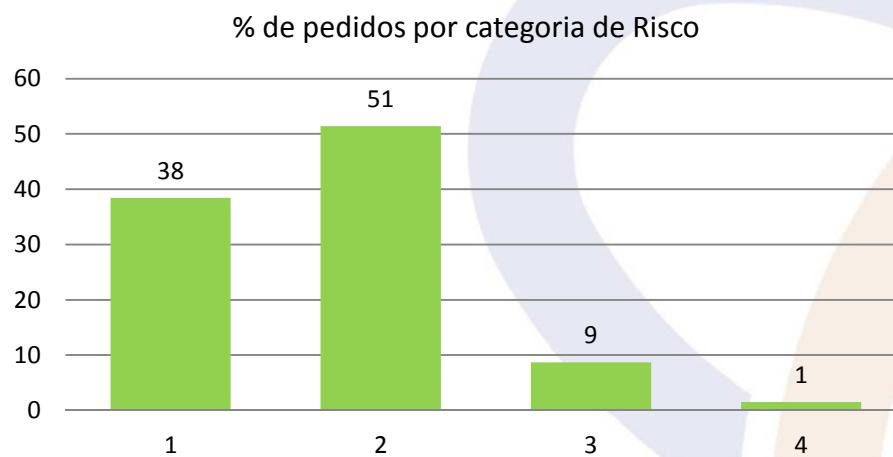


Pareceres projetos	1562
Vistorias	3500
Parecer MA	3499
Inspeções regular	200
Inspeções extraordinárias	350

Estatísticas



Estatísticas



Estatísticas

Tipo UT	%
Tipo V - hospitalares e lares de idosos	16,8
Tipo XII - industriais, oficinas e armazéns	15,7
Tipo VII - hoteleiros e restauração	13,6
Tipo VIII- comerciais e gares de transportes	13,5
Tipo IV - escolares	11,6
Mista	9,2
Tipo III - administrativos	5,7
Tipo VI - espetáculos e reuniões públicas	2,6
Outro - legislação anterior	2,4
Tipo IX- desportivos e de lazer	1,5
Tipo II- estacionamento	1,2
Tipo I- habitacionais	0,9
Tipo X- museus e galerias de arte	0,4
Tipo XI- bibliotecas e arquivos	0,2

Estatísticas

Nº de Empresas de formação reconhecidas

- Portaria 64, 70 horas – 7
- Portaria 64, 90 horas – 6
- Protocolo ordens, 120 horas – 26

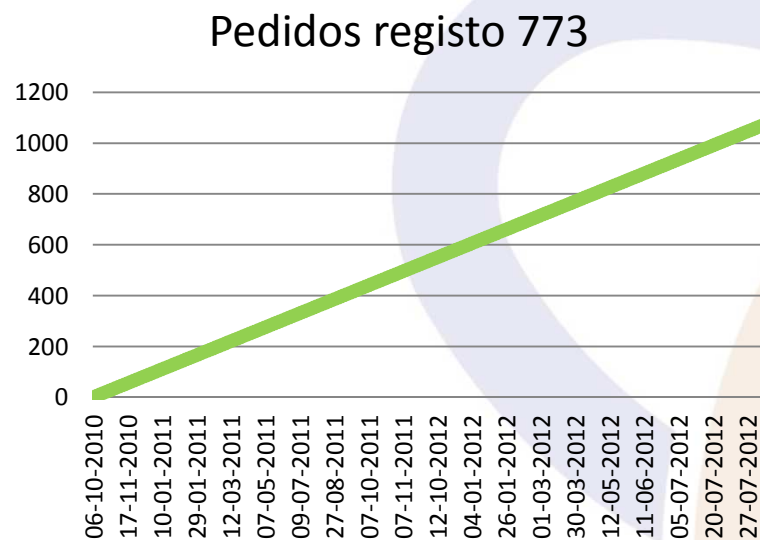
Nº de Engenheiros e Arquitectos reconhecidos para projetos 3ª e 4ª - 785

Estatísticas

Credenciação de entidades

- **Câmaras - Lisboa, Porto**
- **Bombeiros voluntários - Amadora, Bombarral, Carcavelos e S. Dom. Rana, Esmoriz, Lourinhã, Lourosa, S. João da Madeira, Vagos**

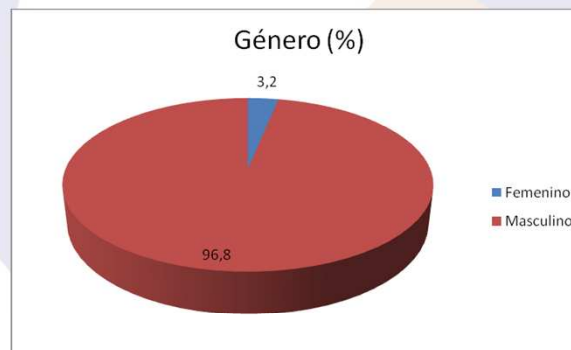
Estatísticas



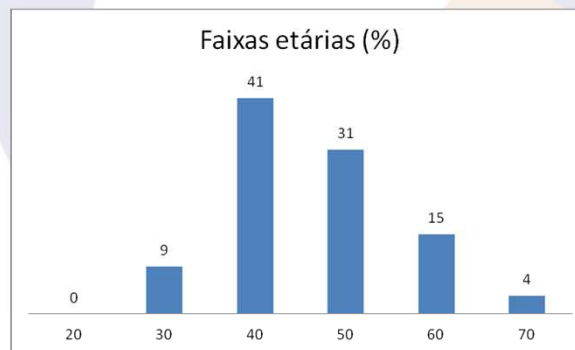
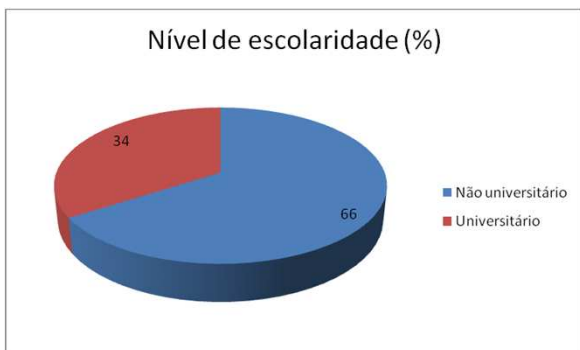
Entidades registadas - 828

Técnicos Responsáveis - 1400

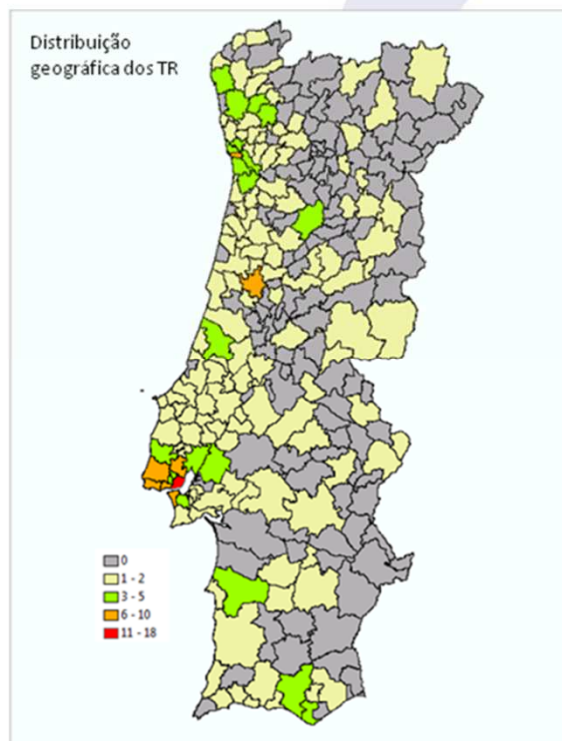
Estatísticas



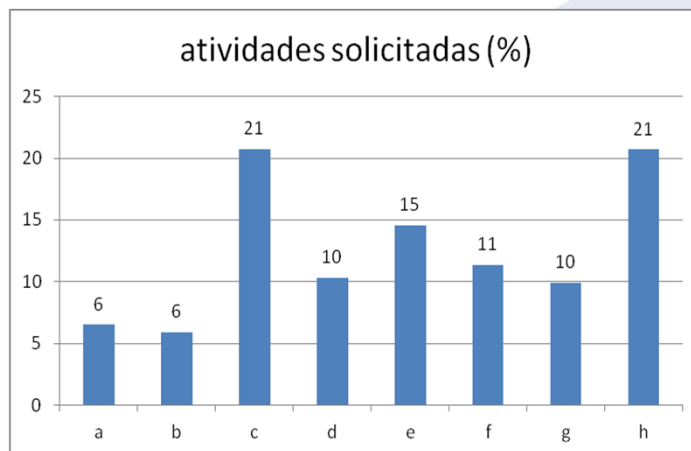
Estatísticas



Estatísticas



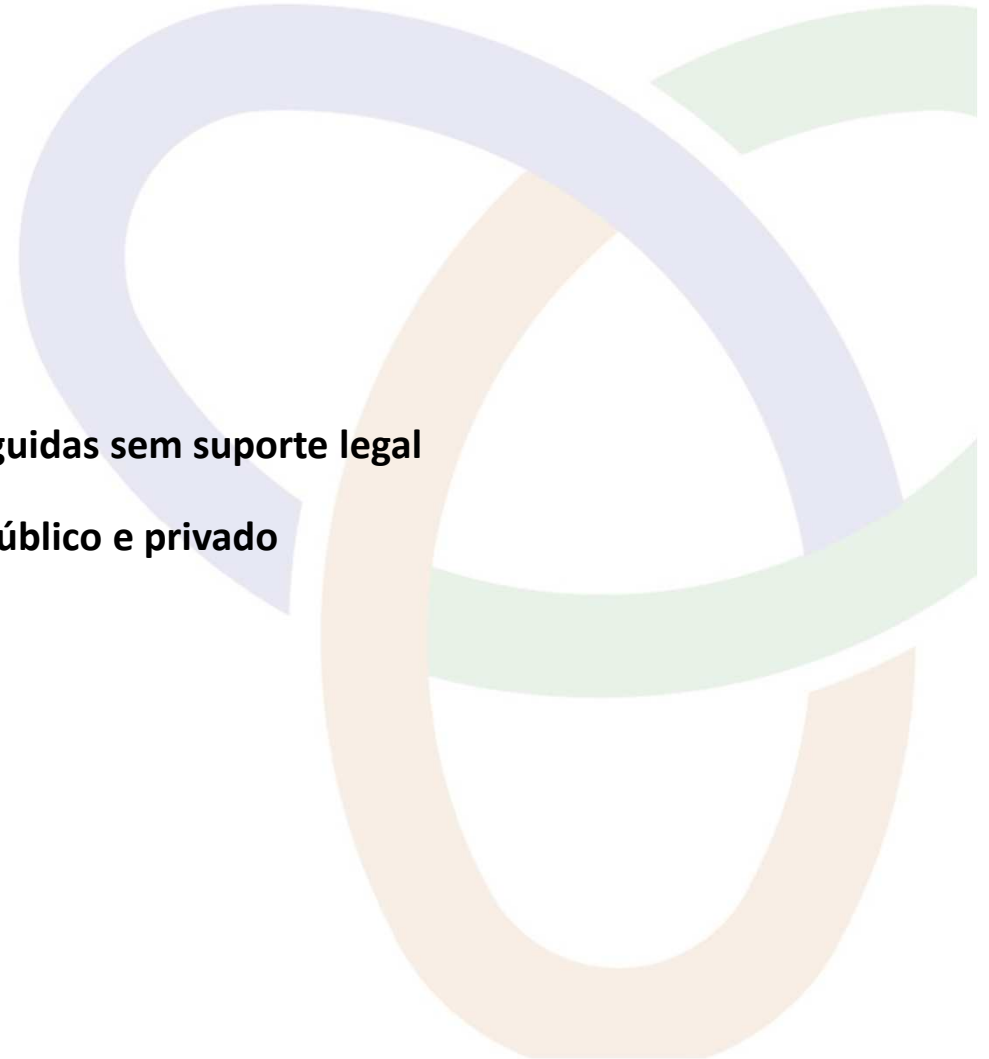
Estatísticas



- a** Portas e envidraçados resistentes ao fogo e ao fumo, e seus acessórios
- b** Sistemas de compartimentação e revestimentos contra incêndio
- c** Sistemas automáticos e dispositivos autónomos de deteção de incêndio e gases
- d** Sistemas e dispositivos de controlo de fumo
- e** Extintores
- f** Sistemas de extinção por água
Sistemas de extinção automática por agentes distintos da água e água nebulizada
- g** nebulizada
- h** Sinalização de segurança

Aspetos positivos

- **Reunião de vária legislação dispersa**
- **Incompatibilidades**
- **Formação**
- **Enquadra práticas que vinham a ser seguidas sem suporte legal**
- **Responsabilização do cidadão, sector público e privado**
- **Responsabilização do projetista**

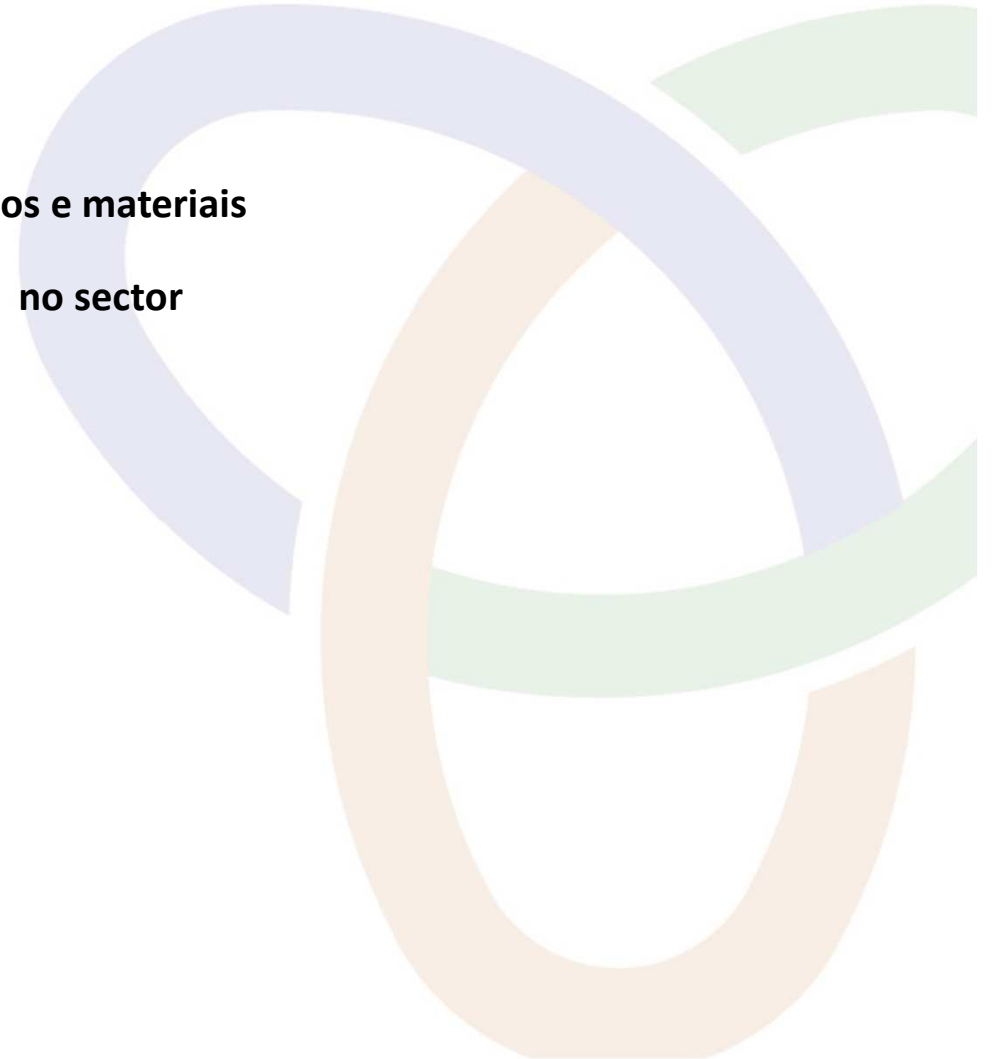


Aspetos negativos

- **Número insuficiente de inspeções extraordinárias**
- **Número insuficiente de inspeções regulares**
- **Ausência da plataforma de SCIE**
- **Regulamento excessivamente remissivo**
- **Regulamento excessivamente exigente em determinadas áreas, com reflexos de custos por vezes não justificados**
- **Legislações com sobreposições e sem coordenação**

Futuro

- **Disponibilização de recursos humanos e materiais**
- **Reestruturação e aposta estratégica no sector**





Balanço da Implementação da Regulamentação de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

Henrique Vicêncio
Autoridade Nacional de Protecção Civil



Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Observações de incêndios reais



- **Ensaaios ao fogo de Cardington**
 - Ensaio a viga com queimadores
 - Ensaio à estrutura com queimadores
 - Ensaaios de canto com paletes de madeira
 - Ensaaios de demonstração com equipamentos reais de escritório

- **Evidências a partir de incêndios acidentais em edifícios reais**
 - Incêndio acidental



Ensaio ao fogo de Cardington



- Edifício metálico porticado de 8 andares

Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais



Ligação viga-viga



Ligação viga-pilar



Ensaaios ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais

- **Características principais do edifício**
 - Comprimento: 45 m em 5 vãos de 9 m
 - Largura: 21 m em 3 vãos de 6 m, 9 m e 6 m
 - Altura do andar: 4.2 m
 - Elementos em aço: UB para vigas e UC para pilares
 - Laje mista: betão leve com espessura total de 130 mm e uma chapa perfilada trapezoidal
 - Rede de aço: 142 mm²
 - Ligações de aço: chapas finas para viga-viga e chapas de extremidade flexíveis para ligações viga-pilar
 - Carga aplicada: sacos de areia (a carga irá depender do ensaio)

Vídeo



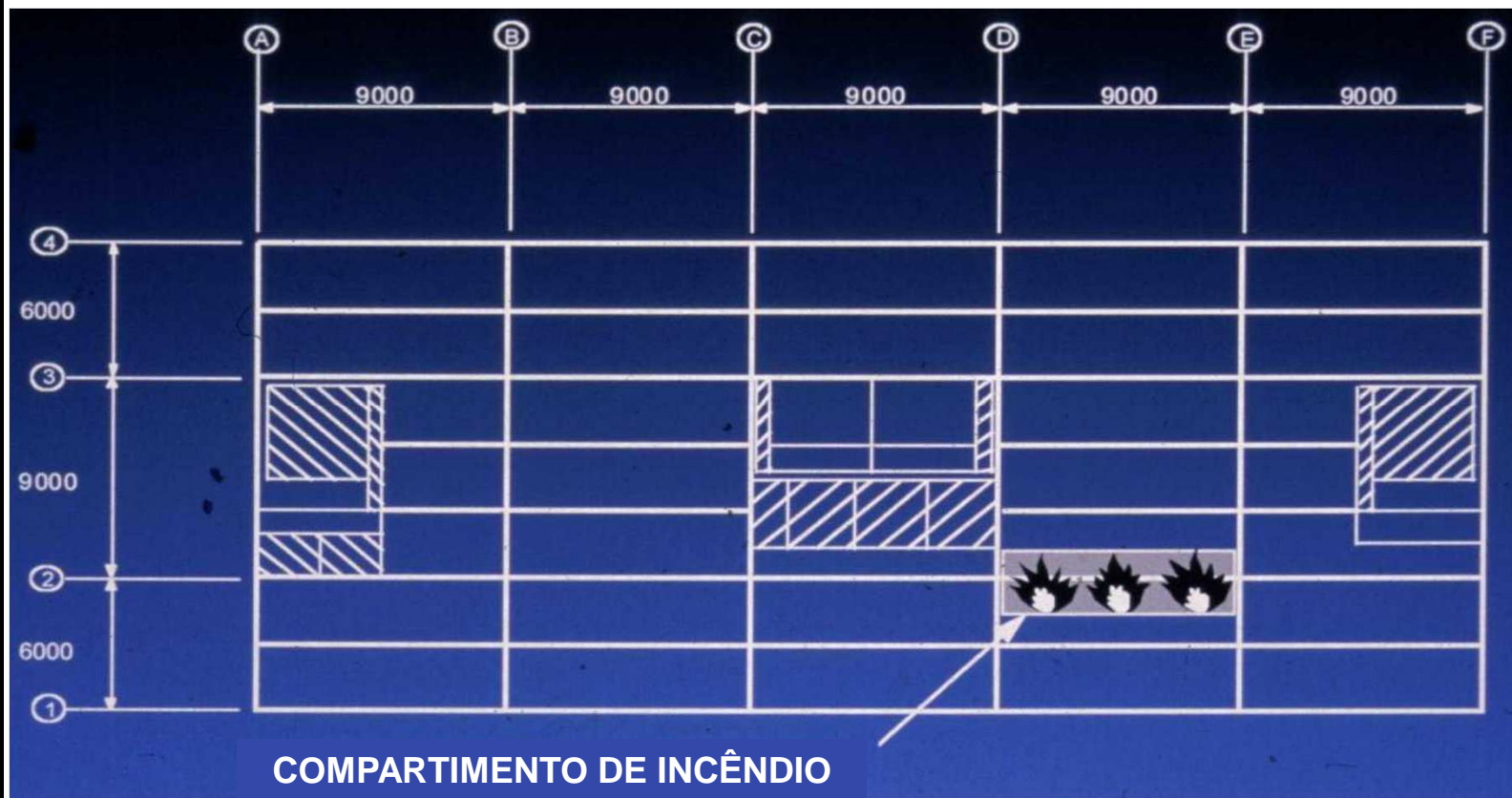
Ensaio ao fogo de Cardington



- Ensaio a viga restringida: vão = 9.0 m

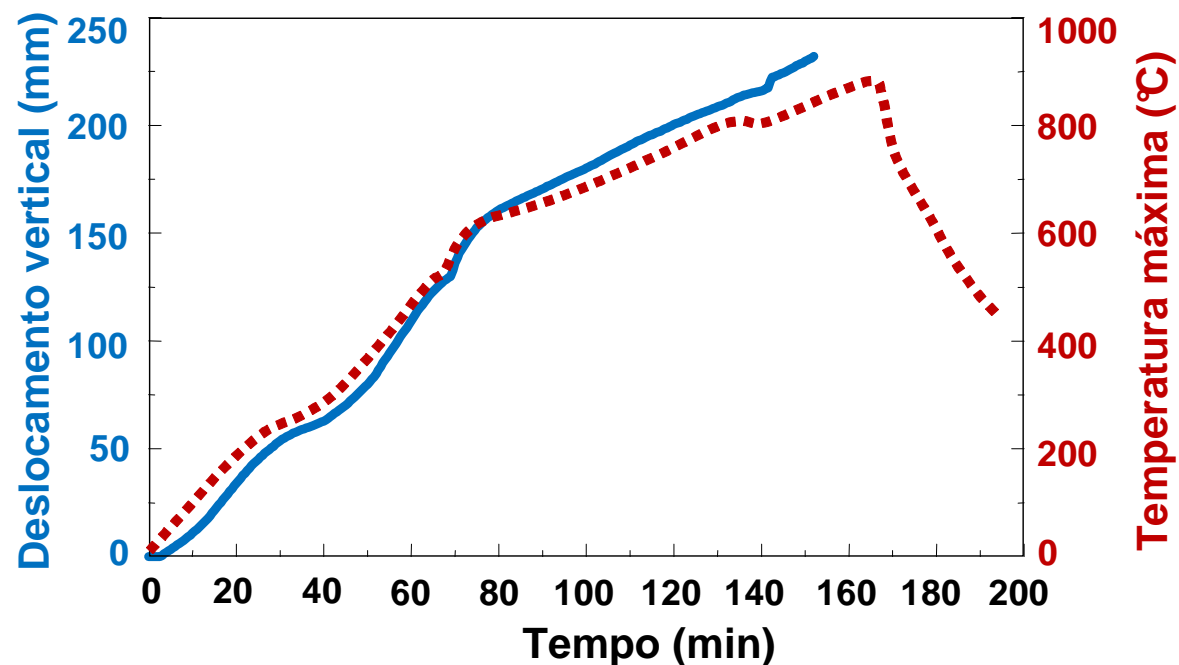
Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais





- Ensaio a viga restringida: resultados experimentais



Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais

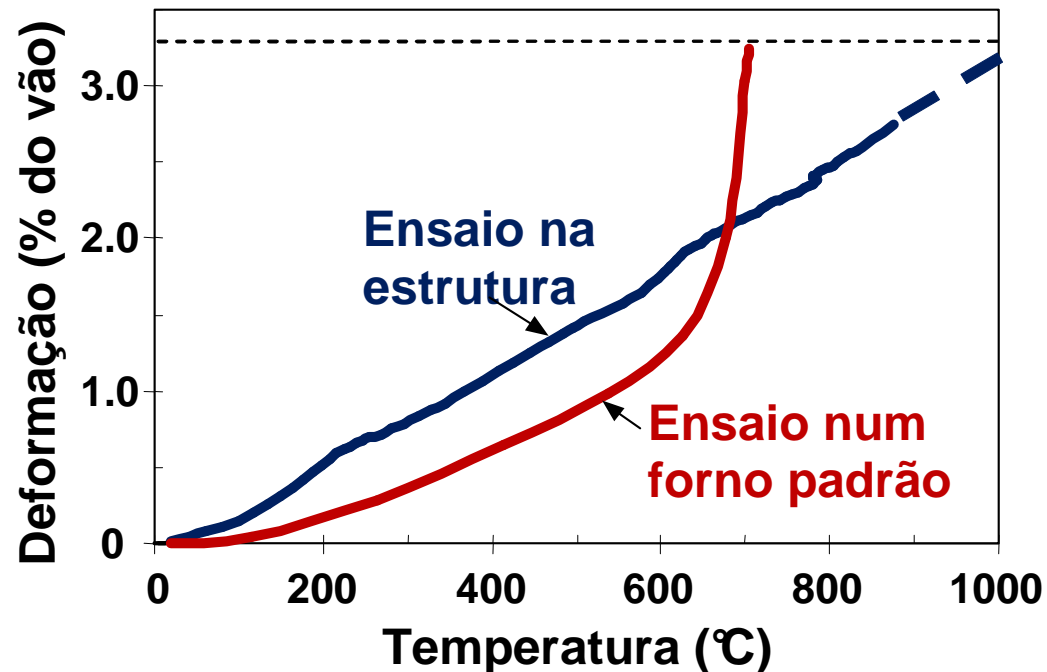
- Observação
 - Aquecimento máximo $\approx 900\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Deformação da viga: $< 250\text{ mm}$



Ensaio ao fogo de Cardington



- Comparação com um ensaio ao fogo num forno padrão



Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais

- Conclusão
 - Nenhum sinal de rotura no sistema de pavimento misto global
 - Colapso para $\theta \approx 650 \text{ °C}$ se simplesmente apoiado



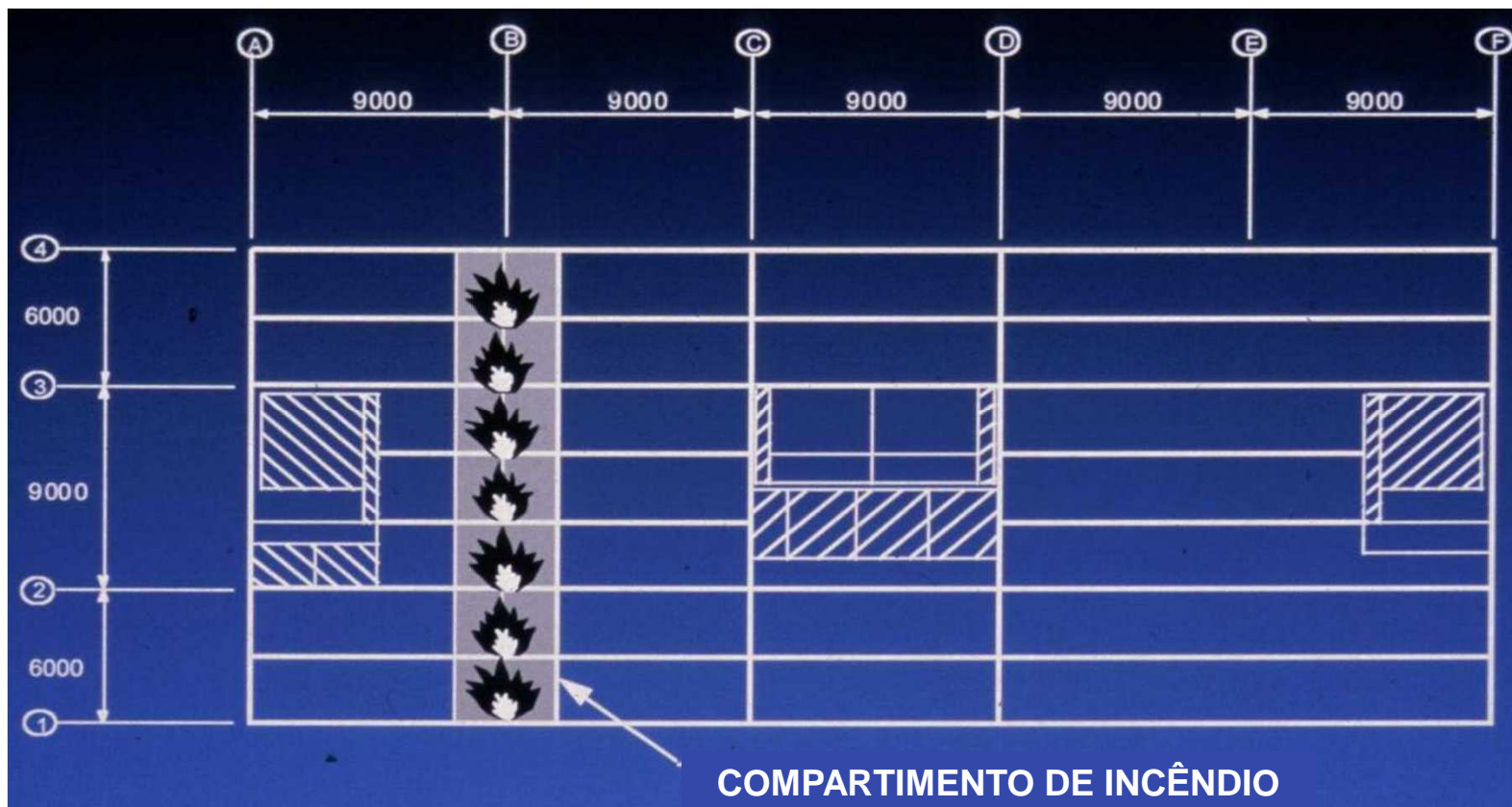
Ensaio ao fogo de Cardington



- Ensaio a viga inserida num pórtico plano

Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais

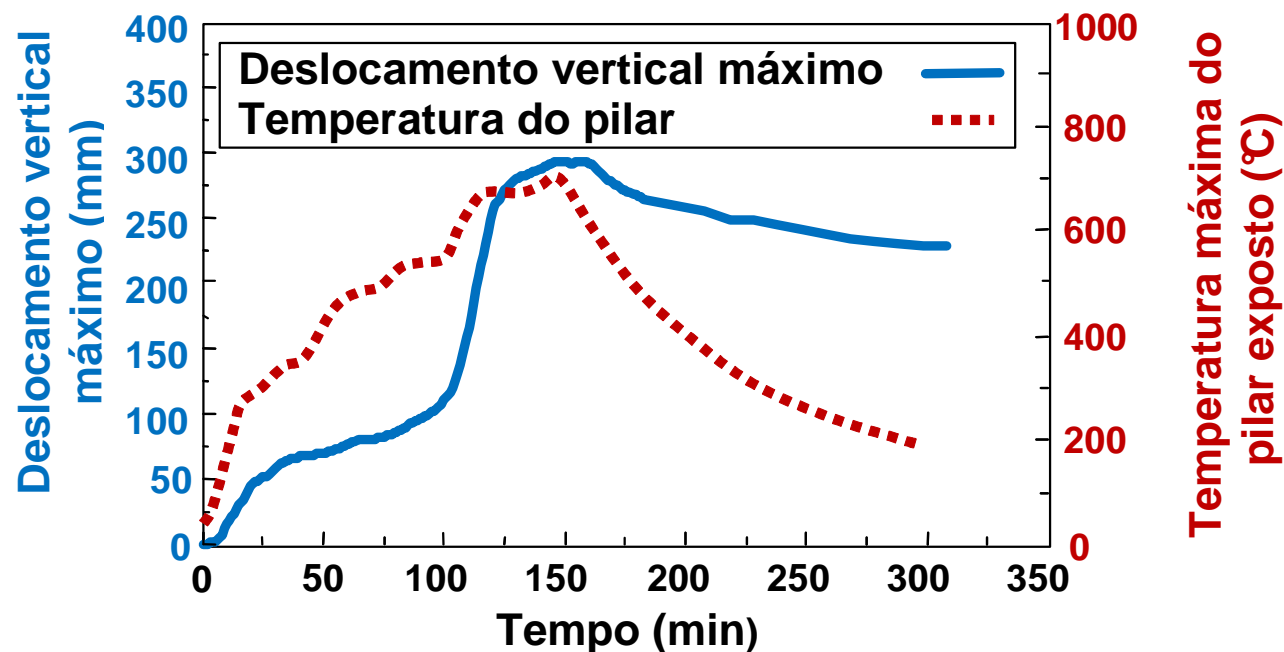




Ensaio ao fogo de Cardington



- Ensaio a pórtico plano: resultados experimentais



Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais

- Observação
 - Aquecimento máximo ≈ 750 °C
 - Deformação da viga ≈ 300 mm



Ensaio ao fogo de Cardington



- Estado de deformação da parte do pavimento aquecida



Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais

- **Conclusão**
 - Esmagamento da parte não protegida do pilar
 - Sem colapso apesar da rotura local na imagem



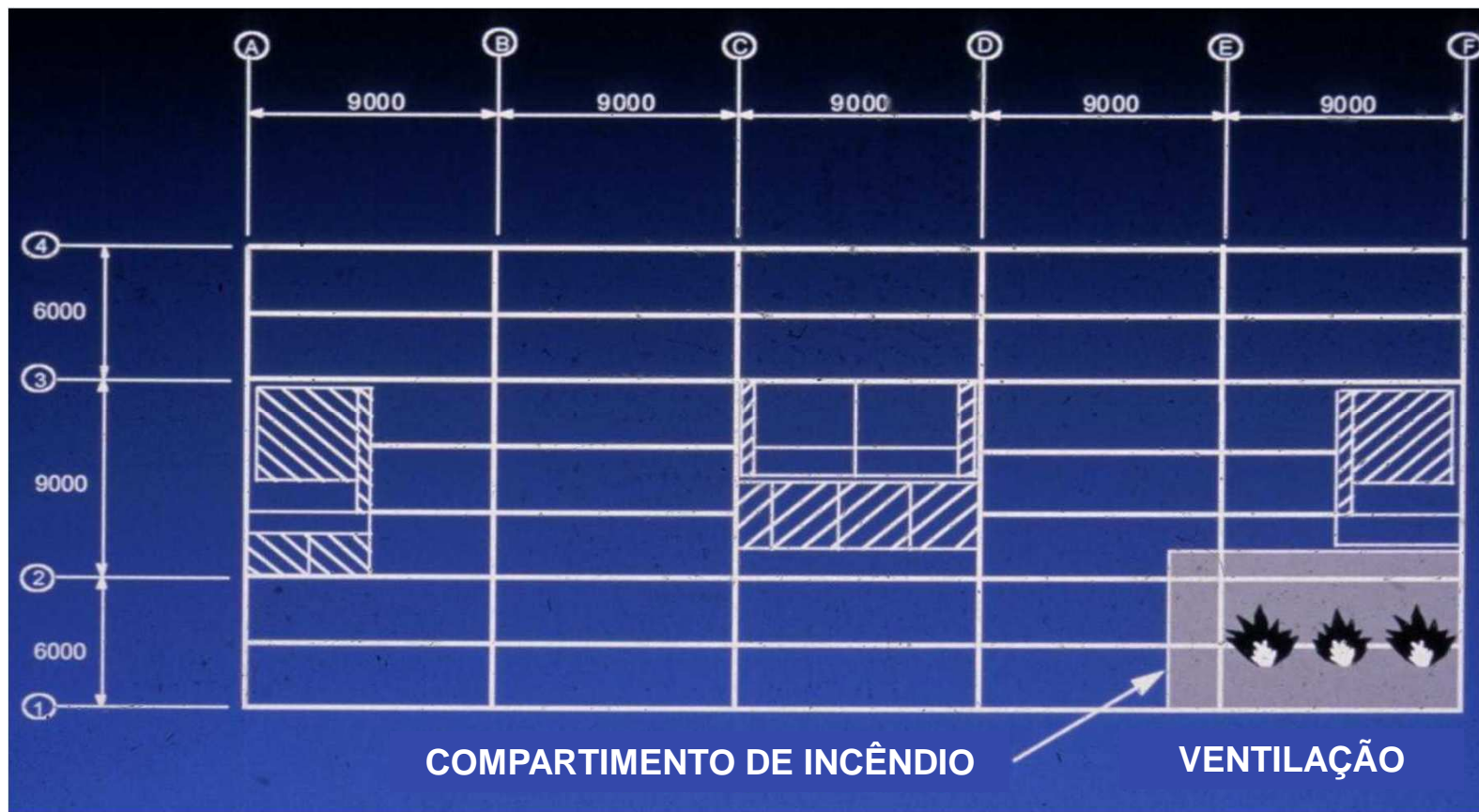
Ensaio ao fogo de Cardington



- Ensaio a compartimento de canto

Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais





Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio a compartimento de canto: set-up**

Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



**Paredes do compartimento
feitas com tijolos perfurados**

**Carga de incêndio com
paletes de madeira igual a
45 kg/m²**





Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio a compartimento de canto: resultados experimentais**

Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



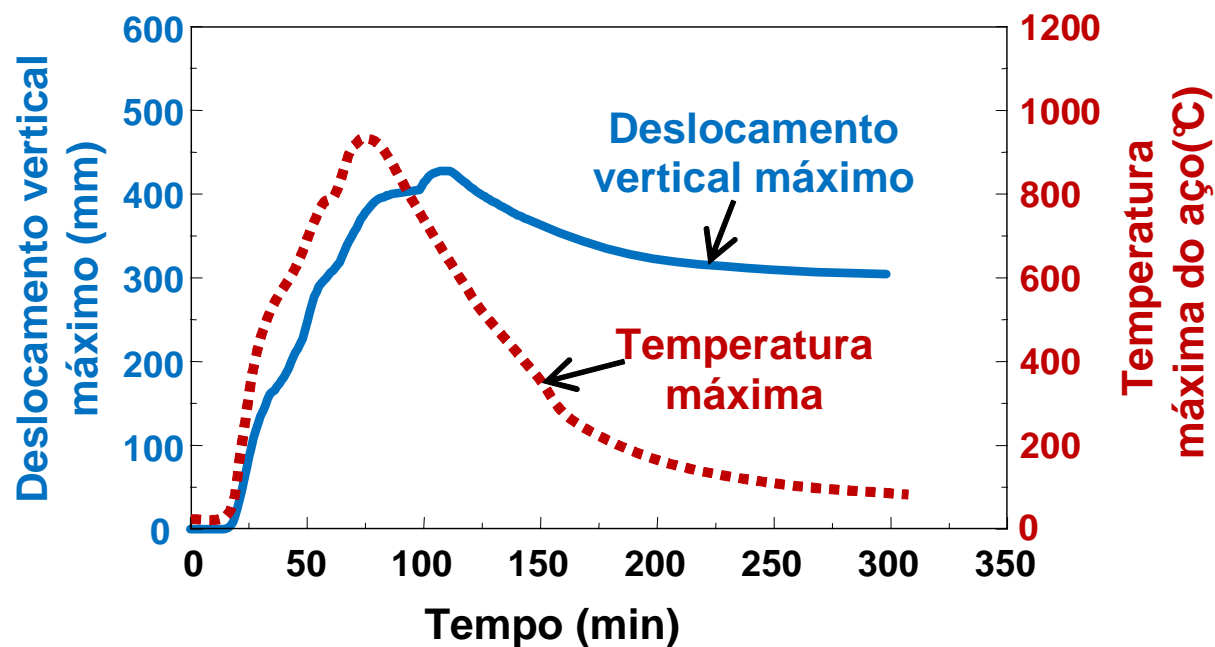
Fogo durante o ensaio

**Deformação do pavimento
depois do ensaio**





- Ensaio a compartimento de canto: resultados experimentais



Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais

- Observação
 - Aquecimento máximo do aço ≈ 1014 °C
 - Deformação máxima do pavimento ≈ 428 mm



Ensaio ao fogo de Cardington



- Ensaio a compartimento de canto: estrutura depois do ensaio

Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais



Estado de deformação da parte aquecida do pavimento misto



Estado de deformação dos elementos de aço em torno do pilar protegido

- **Conclusão**
 - Não houve nenhum sinal de rotura global do pavimento, nem da passagem da deformação limite do pavimento, apesar do aquecimento substancial do aço



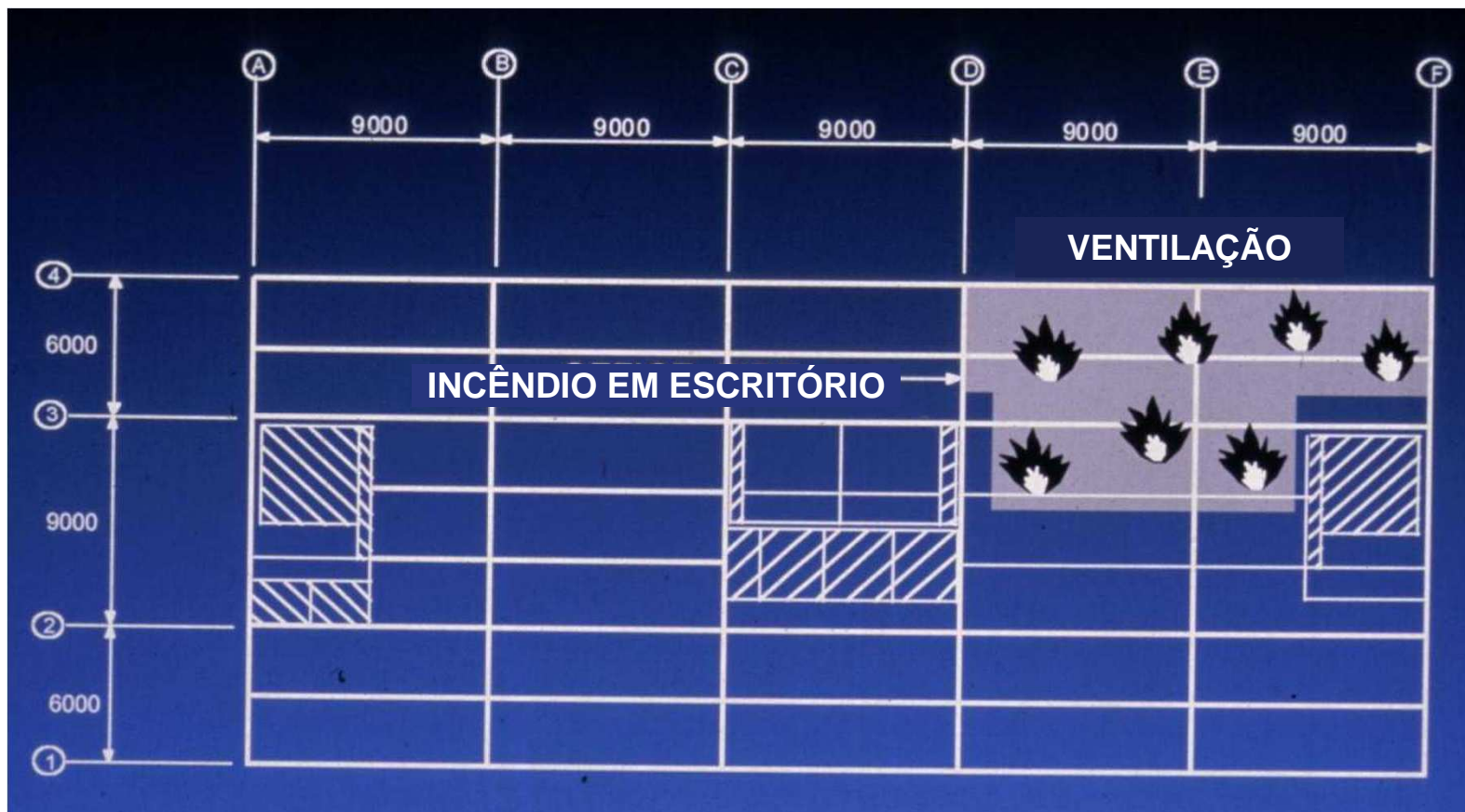
Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio de demonstração (com uma área de mais de 130 m²)**

Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais





Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio de demonstração: set-up**

Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



**Carga de incêndio
com equipamento real
de escritório**

**Aberturas com janelas
de vidro normais**





Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio de demonstração: resultados experimentais**

Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



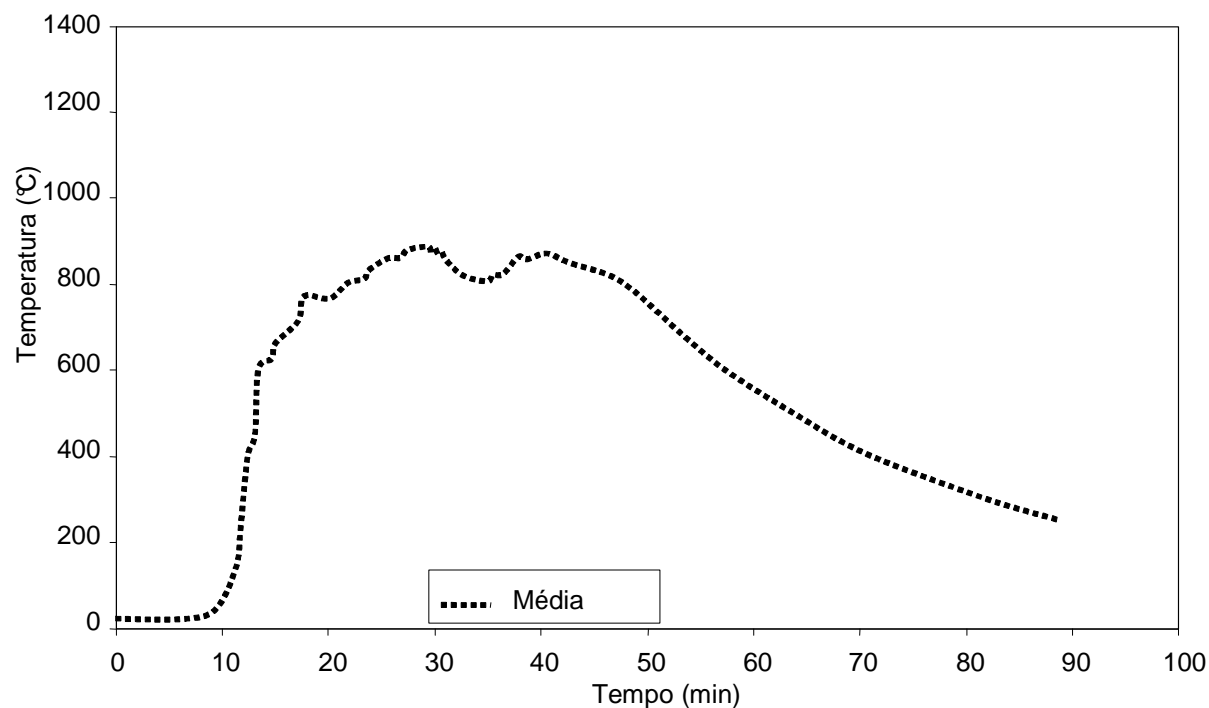
**Estado inicial do
incêndio**

**Incêndio totalmente
desenvolvido**





- **Ensaio de demonstração: resultados experimentais**



- **Observação**

- Temperatura máxima no compartimento $\approx 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Aquecimento máximo do aço $\approx 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ensaio ao
fogo de
Cardington

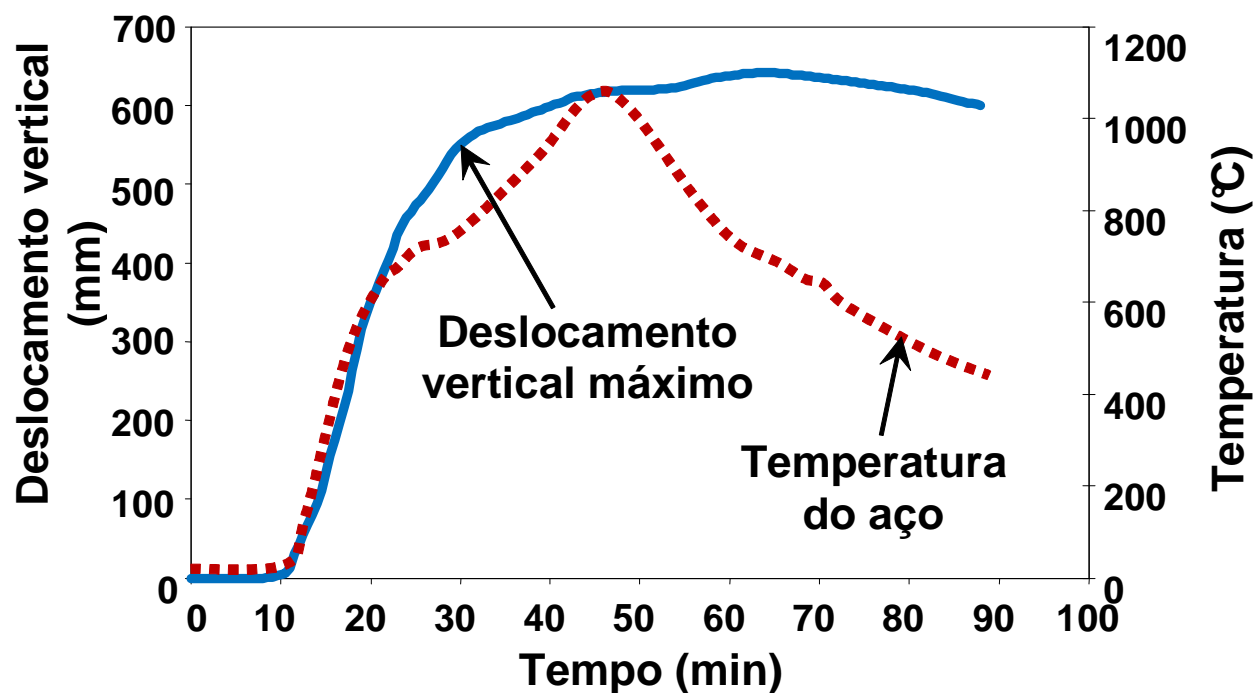
Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio de demonstração: resultados experimentais**



Ensaio ao fogo de Cardington

Evidências a partir de incêndios acidentais

- **Observação**
 - Deformação substancial do pavimento ≈ 640 mm
 - Não ocorreu colapso do pavimento



Ensaio ao fogo de Cardington



- **Ensaio de demonstração: estrutura após o ensaio**

Ensaio ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



Estado de deformação da parte
aquecida do pavimento misto



Estado de deformação dos elementos
de aço em torno do pilar metálico
protegido

- **Conclusão**
 - Não há nenhum sinal de rotura global do pavimento apesar do aquecimento substancial do aço e da deformação do pavimento



Ensaaios ao fogo de Cardington



Ensaaios ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais

- **Outros ensaios ao fogo**
 - Ensaio a um segundo canto
 - Ensaio a um compartimento de grandes dimensões
 - Ensaio a um novo canto



Ensaaios ao fogo de Cardington

- **Observações gerais**

- Foram realizados um largo número de ensaios bastante severos a este edifício metálico porticado sem a ocorrência do colapso global da estrutura;
- **Observou-se um desempenho ao fogo melhor que o observado em ensaios de incêndio padrão realizados a elementos metálicos isolados;**
- Excelente comportamento global do pavimento misto mesmo quando as vigas de aço foram aquecidas até temperaturas superiores a 1000°C;
- **Verificou-se uma melhoria da resistência ao fogo do pavimento misto devido à introdução do efeito membrana sob grande deformações;**
- Boa robustez estrutural do sistema de pavimento misto em caso de fissuração relevante do betão.

Ensaaios ao
fogo de
Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais



Incêndios acidentais e outros ensaios ao fogo



- **Incêndio Broadgate**

- Edifício de escritórios de 14 andares com o sistema de pavimento misto
- Temperaturas superiores a 1000 °C
- Deformação substancial do pavimento (superior a 600 mm), mas sem ocorrência de colapso

Ensaio ao fogo
de Cardington

Evidências a
partir de
incêndios
acidentais





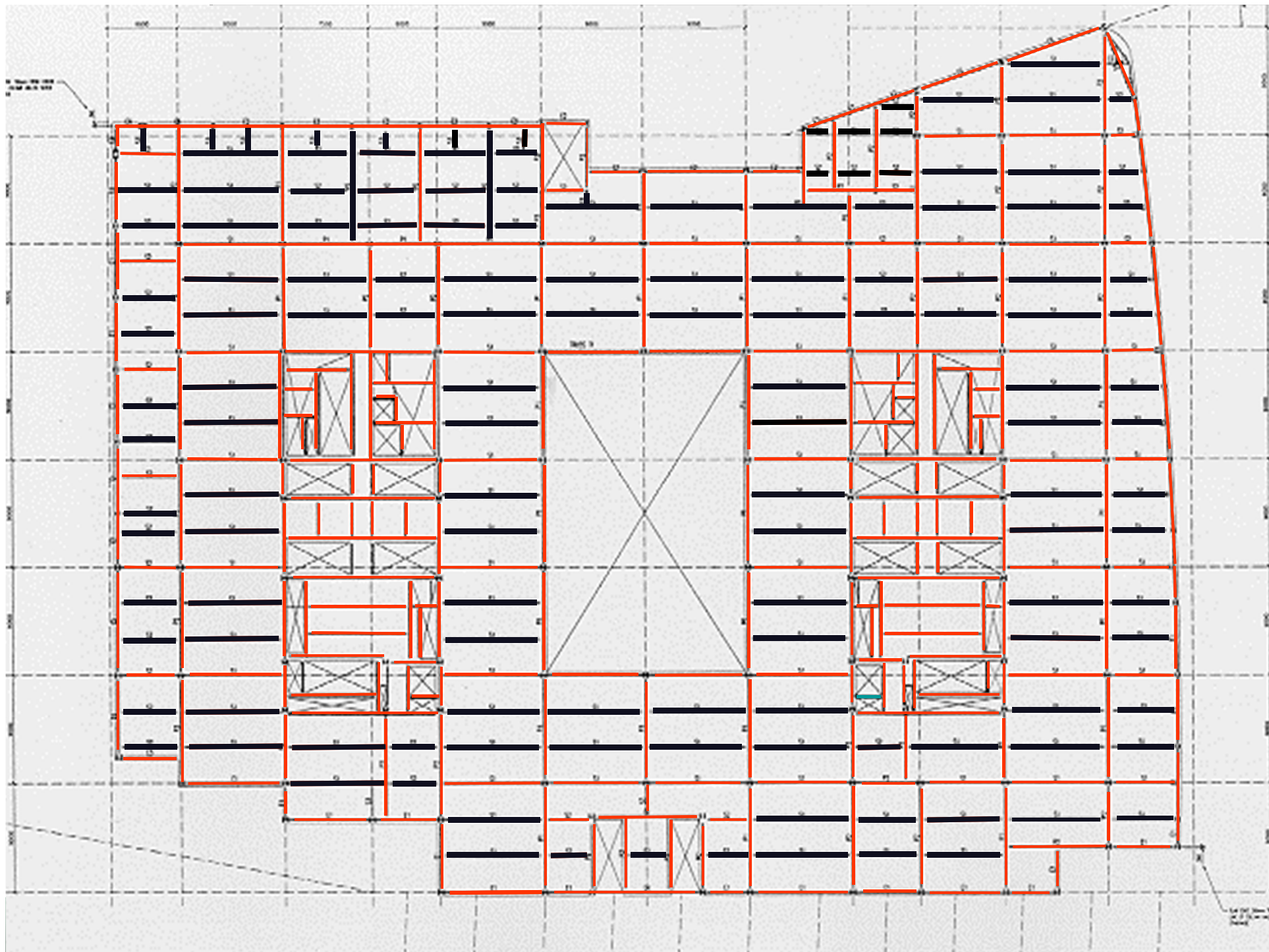
Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Método de cálculo simplificado



Objetivo do método de cálculo







Conteúdo da apresentação



- **Comportamento mecânico de pavimentos mistos em situação de incêndio**
- **Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20°C**
 - Modelo da laje de pavimento
 - Modos de rotura
- **Método de cálculo simplificado de pavimentos mistos a elevadas temperaturas**
 - Extensão para o comportamento ao fogo
 - Efeito membrana a elevadas temperaturas
 - Contribuição de vigas não protegidas
 - Dimensionamento de vigas protegidas

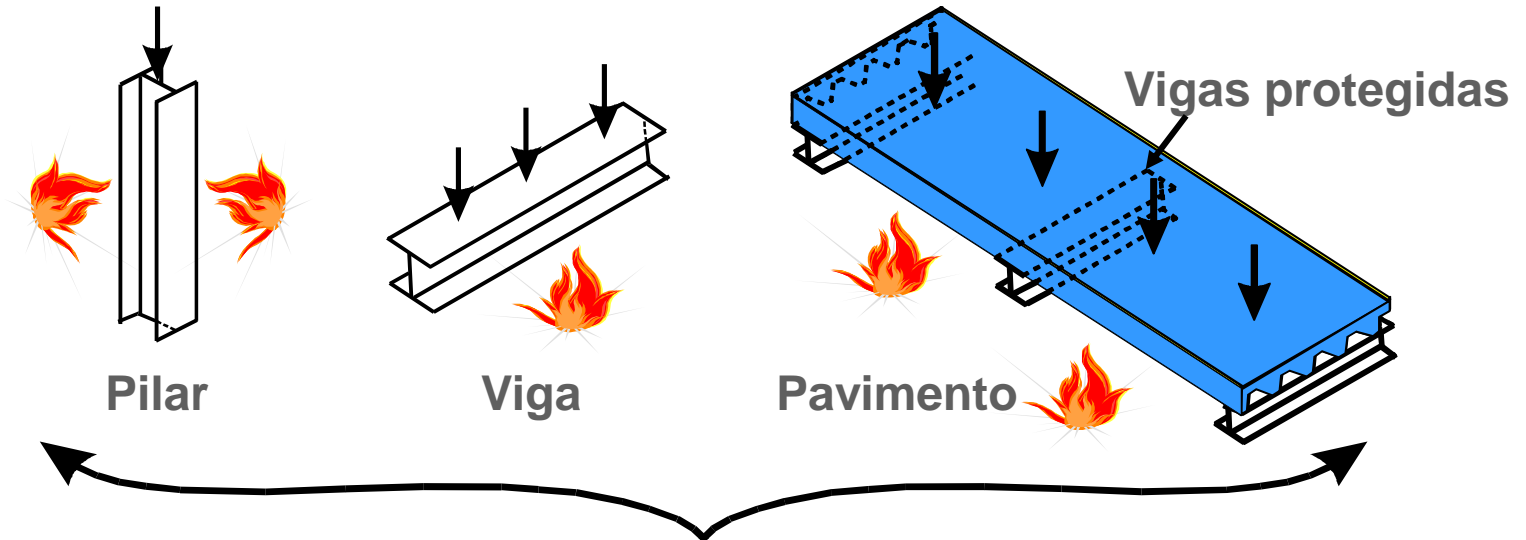


- **Método de cálculo tradicional**

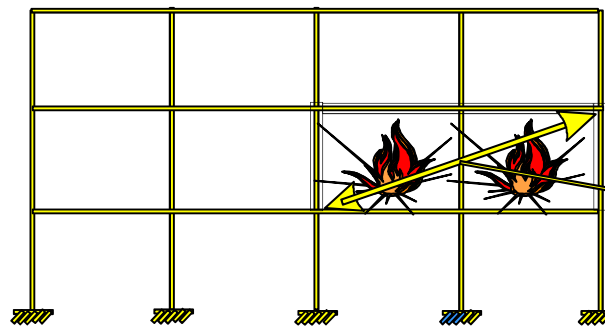
Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20°C

Método de cálculo simplificado de pavimentos mistos a elevadas temperaturas



Os métodos de cálculo existentes consideram que membros isolados irão ter um desempenho semelhante em edifícios reais



Compartimento de incêndio



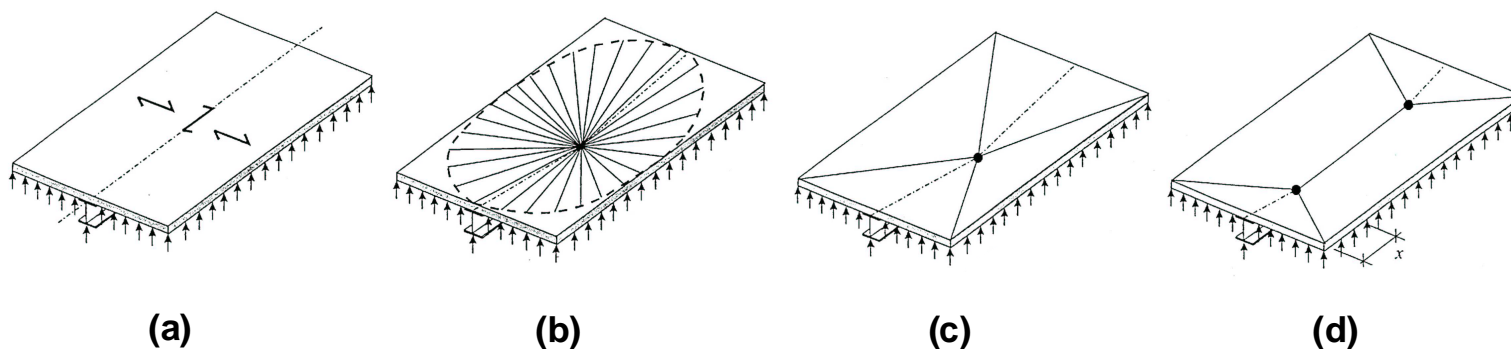
- Comportamento real de um pavimento misto com rede de armadura na laje de betão

Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas

Aumento de temperatura durante o incêndio



Flexão



Efeito da membrana



Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C



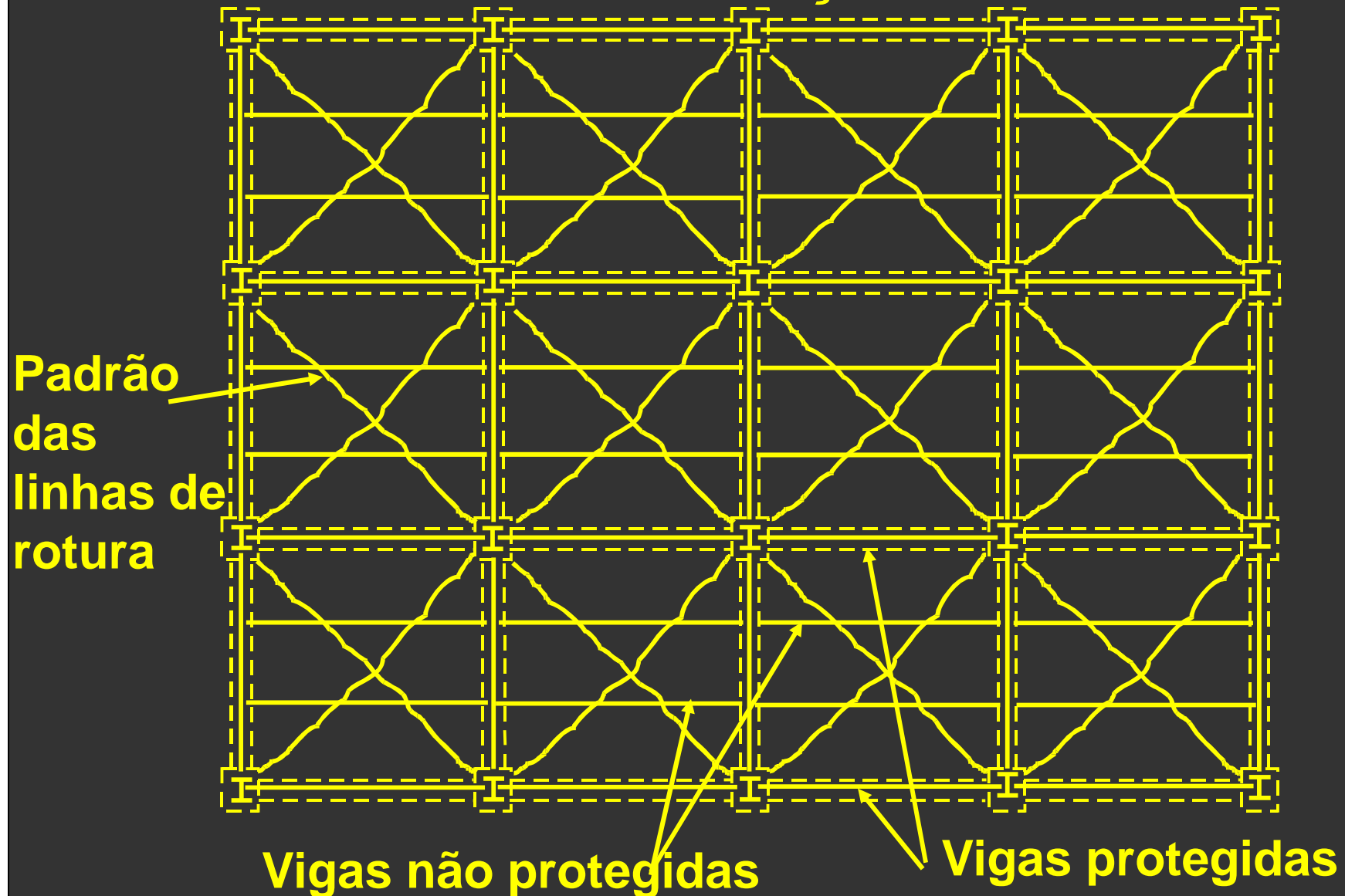
Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

**Método de
cálculo
simplificado a
20°C**

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas

- **Método desenvolvido pelo Professor Colin Bailey
Universidade de Manchester
Ex-investigador do Building Research Establishment
(BRE)**

Dimensionamento tendo em conta o efeito de membrana em situação de incêndio





Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C

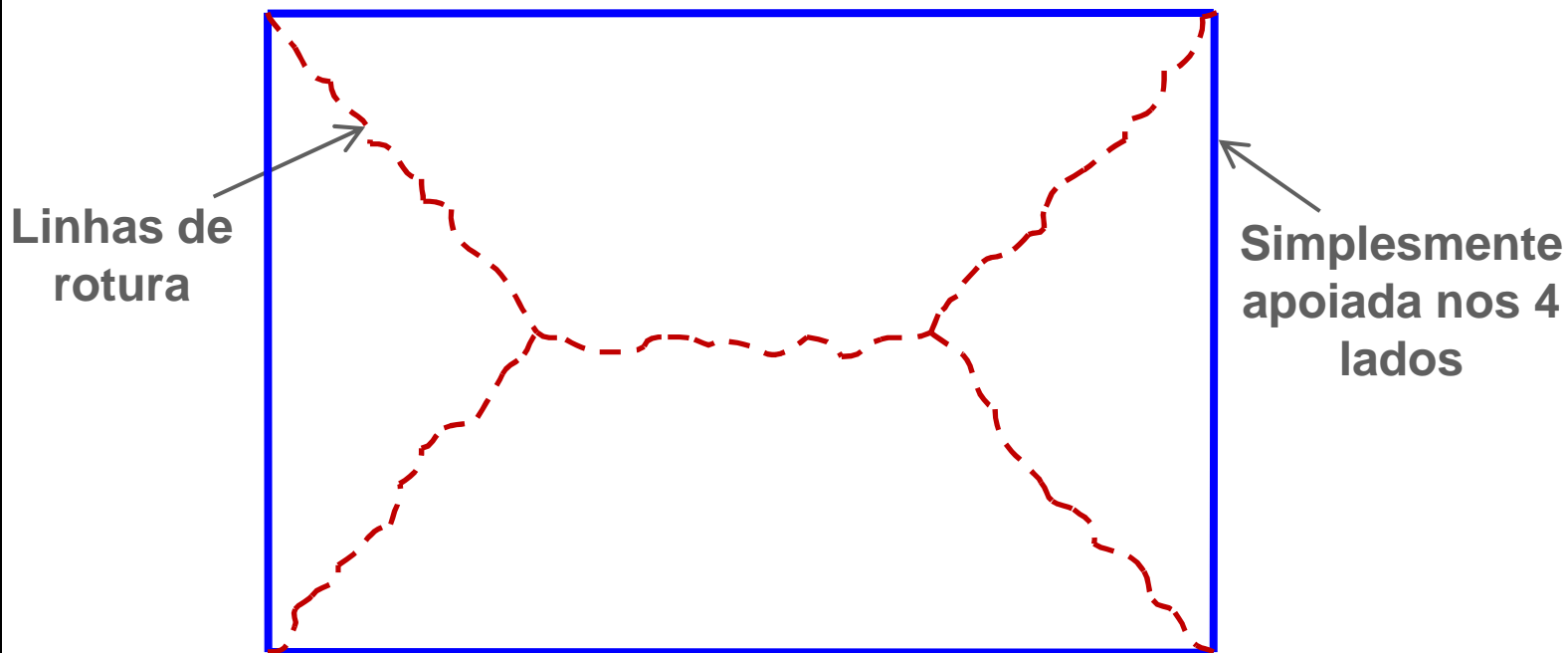


Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de
cálculo
simplificado a
20°C

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas

- **Modelo da laje de pavimento com 4 lados restringidos verticalmente** (linhas de rotura) – não restringido horizontalmente – suposição muito conservativa





Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C

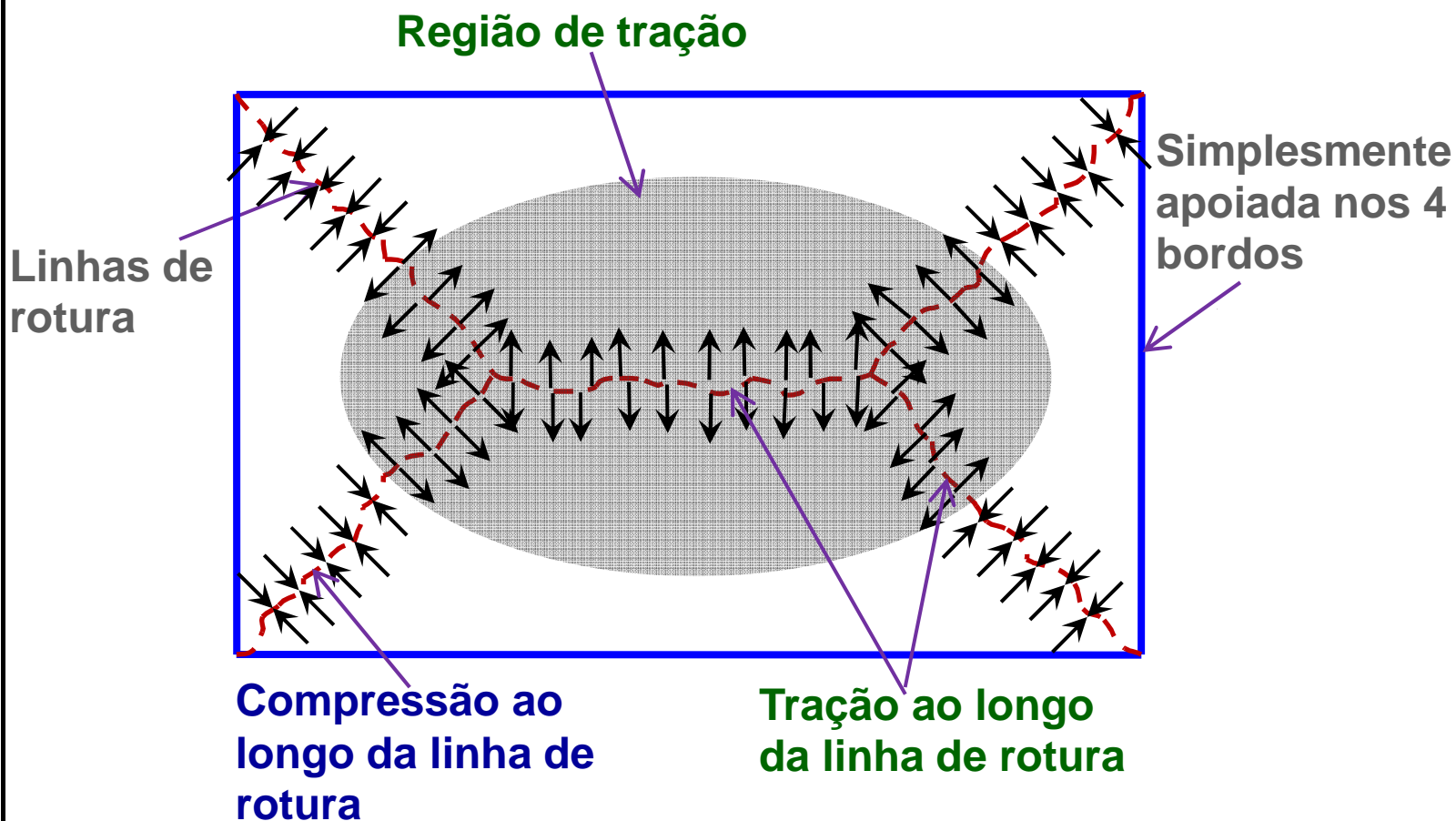


- **Modelo da laje de pavimento**
 - Efeito de membrana melhorando a resistência das linhas de rotura

Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas

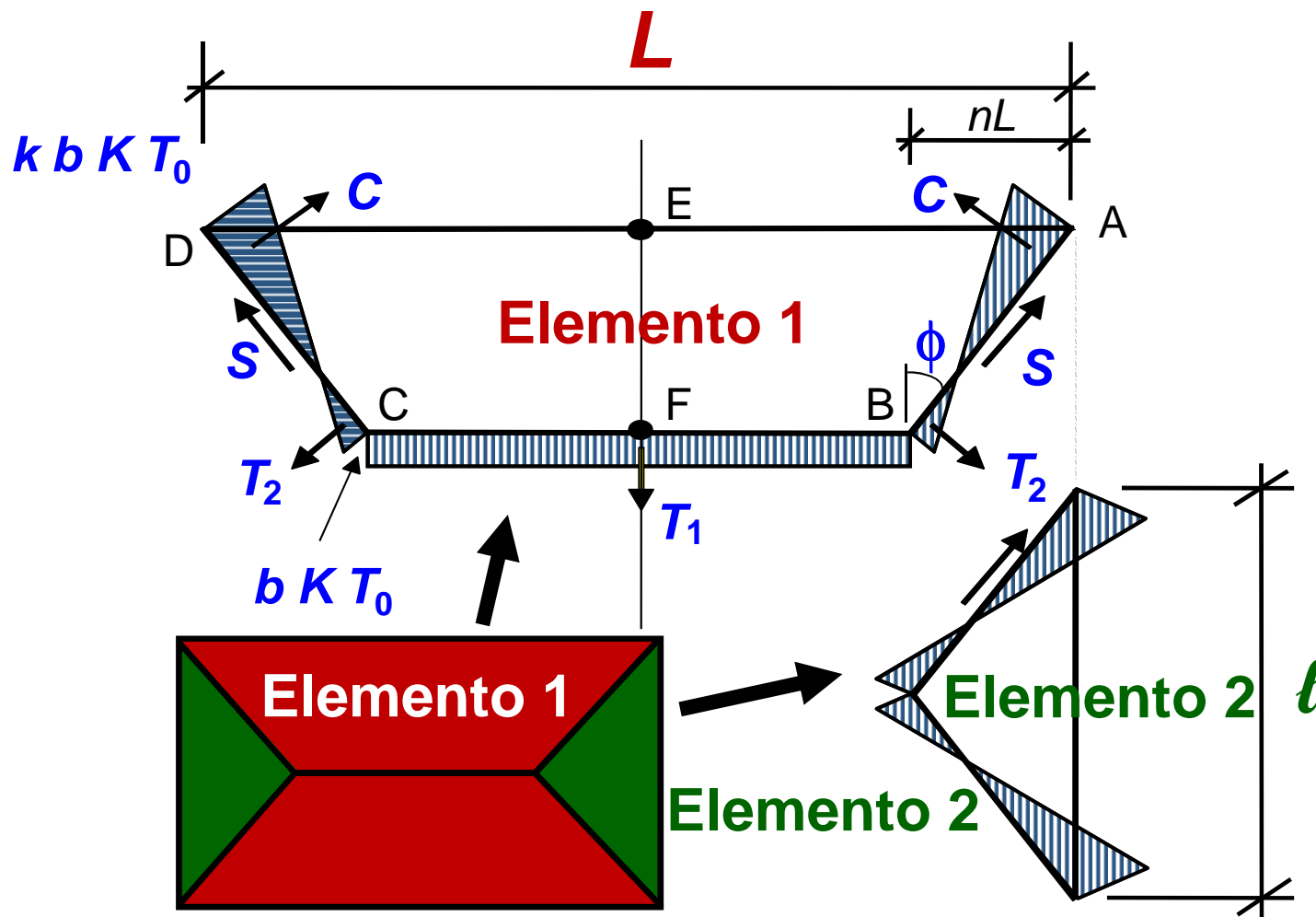




Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C



- Forças de membrana ao longo das linhas de rotura (1)



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de
cálculo
simplificado a
20°C

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas



Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C



- **Forças de membrana ao longo das linhas de rotura (2)**

Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

**Método de
cálculo
simplificado a
20°C**

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas

k, b

são parâmetros que definem a magnitude das forças de membrana,

n

é um fator deduzido a partir da teoria da linha de rotura,

K

é a razão entre a armadura no menor vão e a armadura no maior vão,

KT_0

é a resistência da rede de armadura por unidade de largura,

T_1, T_2, C, S

são as forças de membrana resultantes ao longo das linhas de rotura.

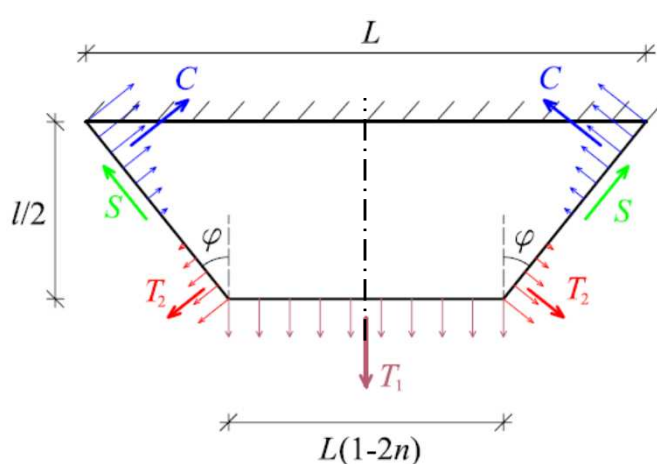


- **Contribuição da ação membrana (1)**
 - **Elemento 1**

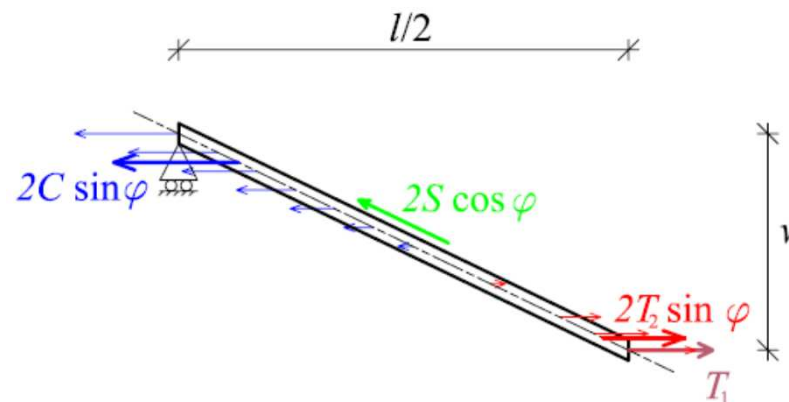
Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



Vista em planta das forças de membrana resultantes



Vista lateral das forças de membrana resultantes sob uma deformação igual a w

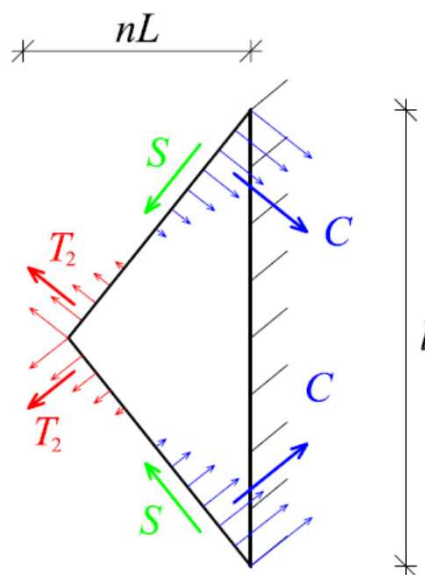


Comportamento mecânico de pavimentos mistos

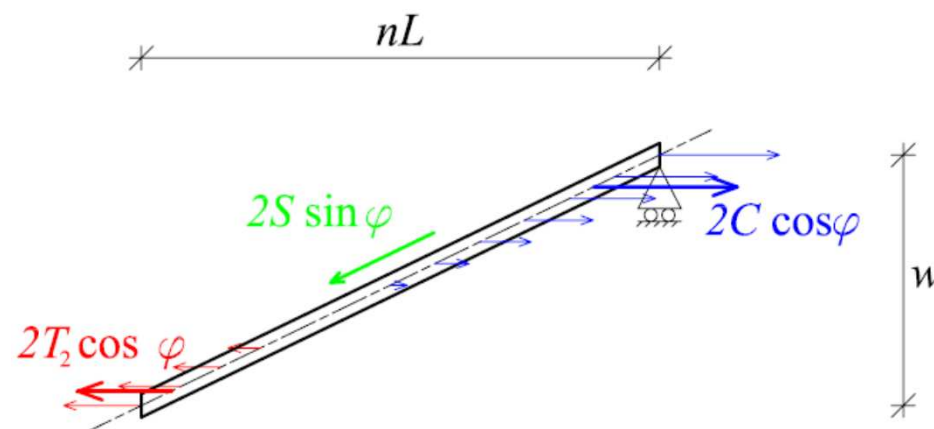
Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas

- **Contribuição da ação membrana (2)**
 - **Elemento 2**



Vista em planta das forças de membrana resultantes



Vista lateral das forças de membrana resultantes sob uma deformação igual a w



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de
cálculo
simplificado a
20°C

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas

- **Contribuição da ação de membrana (3)**

- **Fator de melhoria para cada elemento**

$$e_{i, i=1,2} = \begin{cases} e_{im} : \text{melhoria devido às forças de membrana no} \\ \text{elemento } i & + \\ e_{ib} : \text{melhoria devido ao efeito das forças em} \\ \text{planta na capacidade de flexão.} \end{cases}$$

- **Melhoria total**

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2}$$

onde:

μ é o coeficiente de ortotropia da armadura

a é a relação de forma da laje = L/ℓ

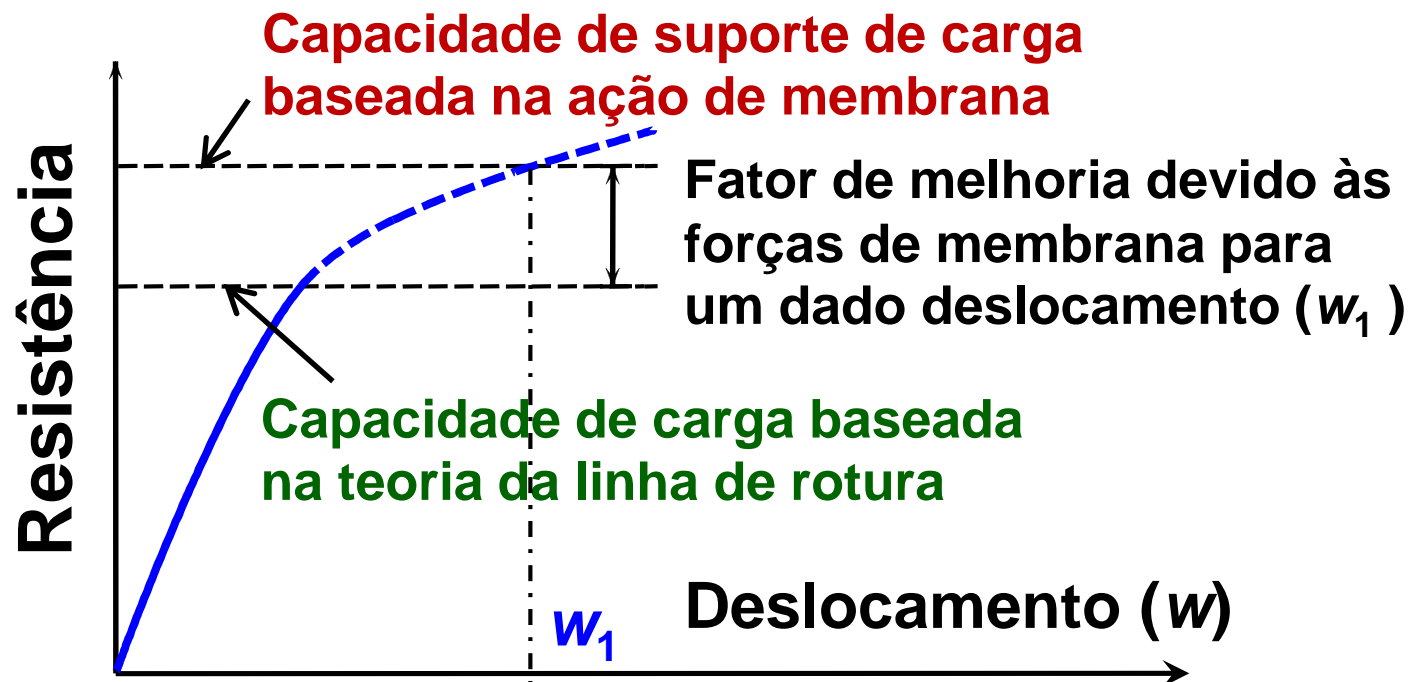


- Contribuição da ação de membrana (4)

Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

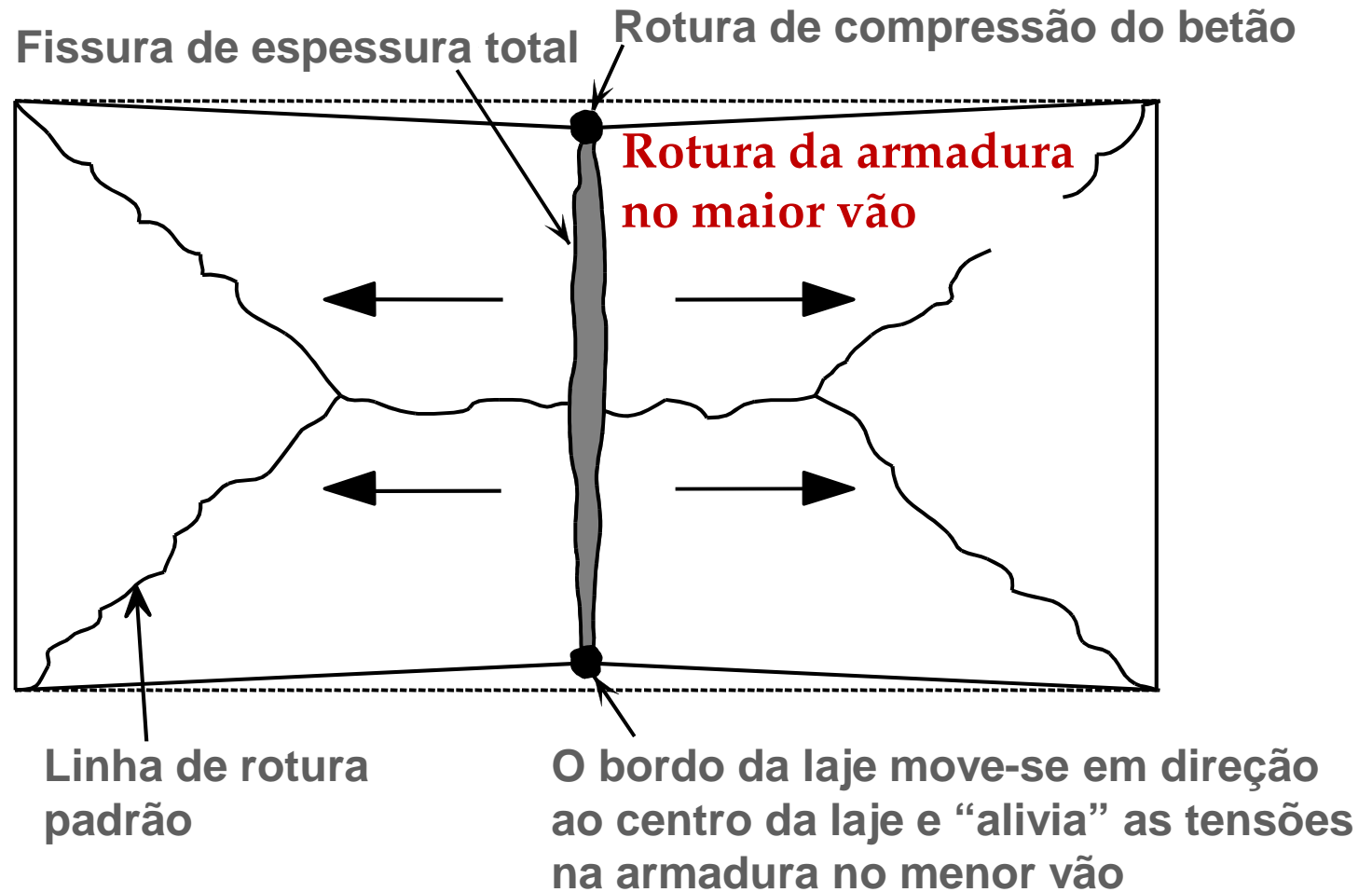
Método de
cálculo
simplificado a
20°C

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas





- **Modos de rotura (rotura de tração da armadura)**



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de
cálculo
simplificado a
20°C

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas



Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C



- **Modos de rotura (rotura de compressão do betão)**
 - Mais provável de ocorrer no caso de rede de armadura forte

Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas





Método de cálculo simplificado de lajes de betão reforçadas a 20 °C

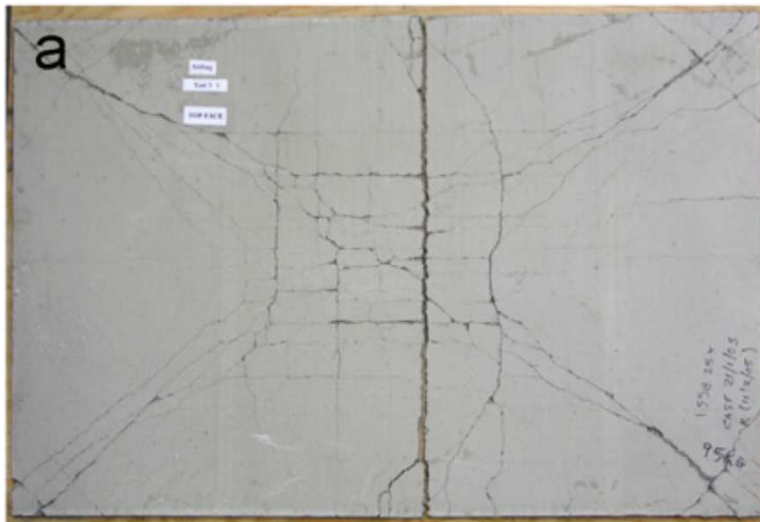


- **Modos de rotura (evidência experimental)**

Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



Rotura de tração da armadura



Rotura de compressão do betão



Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Modelo da laje de pavimento a elevadas temperaturas (1)**
 - Na base do mesmo modelo à temperatura ambiente
 - **Consideração dos efeitos da temperatura nas propriedades dos materiais.**

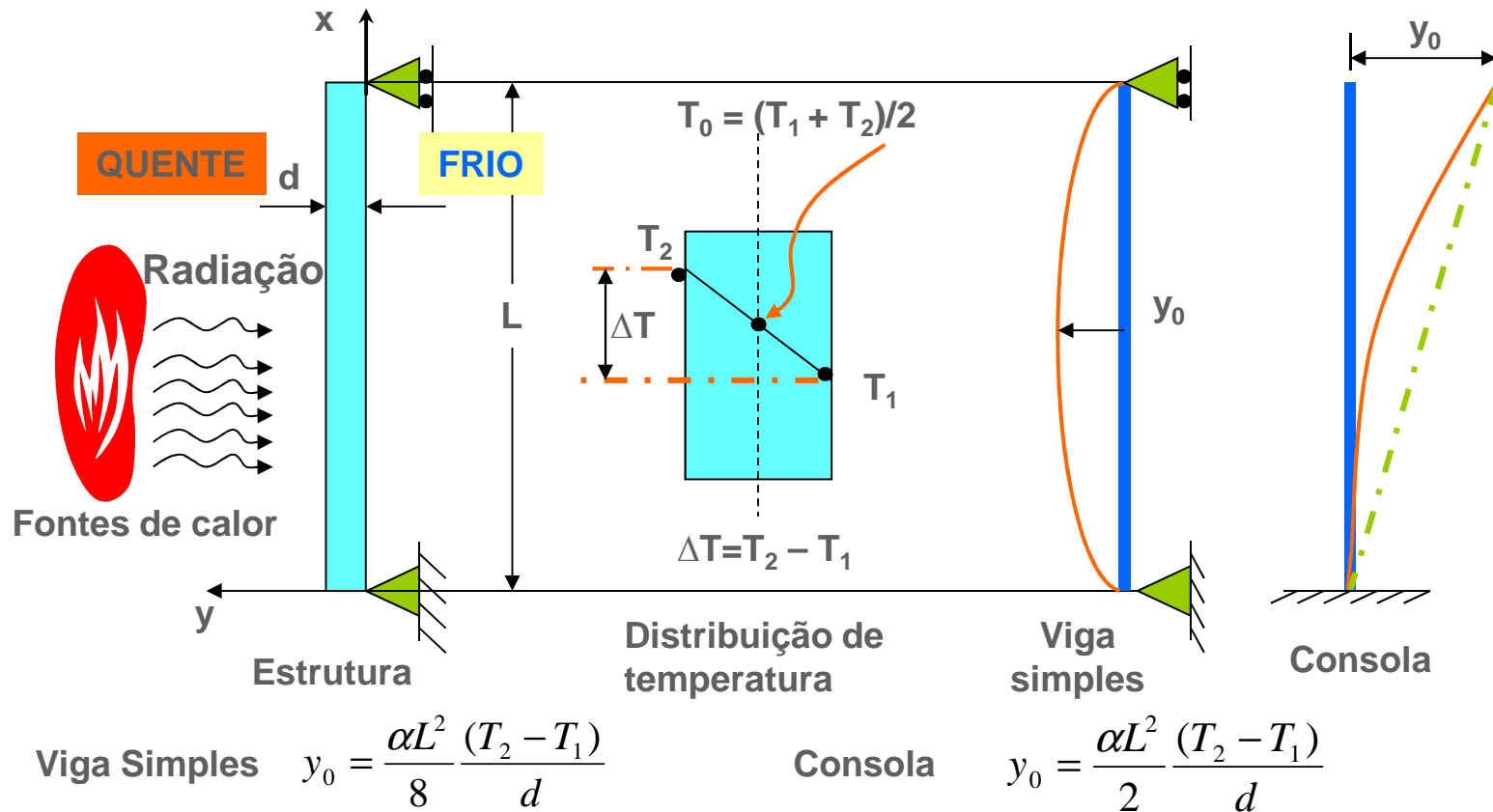


Curvatura livre de uma laje de betão

Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



A curvatura é causada pela diferença de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$ Ou Gradiente $\Delta T/d$



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Modelo da laje de pavimento a elevadas temperaturas (2)**
 - Considerando a curvatura térmica da laje devido ao gradiente de temperatura em profundidade, que é igual a:

$$w_{\theta} = \frac{\alpha (T_2 - T_1) \ell^2}{19.2 h}$$

onde:

h é a altura efetiva da laje

ℓ é o menor vão da laje

α é o coeficiente de expansão térmica do betão

Para betão leve, a EN 1994-1-2 apresenta o seguinte valor

$$\alpha_{LWC} = 0.8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Para betão normal, é tido em consideração um valor conservativo

$$\alpha_{NWC} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} < 1.8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ (valor da EN 1994-1-2)}$$

T₂ é a temperatura da parte inferior da laje (lado exposto ao fogo)

T₁ é a temperatura da parte superior da laje (lado não exposto ao fogo)



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Modelo da laje de pavimento a elevadas temperaturas (3)**

- Assumindo uma deformação média correspondente a uma tensão igual a metade da tensão de rotura à temperatura normal
- Deformação da laje com base numa forma parabólica da deformação da laje devido à carga transversal:

$$w_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{0.5 f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}} \leq \frac{\ell}{30}$$

onde:

E_s é o módulo de elasticidade da armadura a 20°C

f_{sy} é a tensão de cedência da armadura a 20°C

L é o maior vão da laje



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Modelo da laje de pavimento a elevadas temperaturas (4)**

- Assim, a deformação máxima da laje de pavimento é:

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)\ell^2}{19.2 h} + \sqrt{\left(\frac{0.5 f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

- Contudo, a deformação máxima da laje de pavimento está limitada a:

$$w < \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h} + l/30$$

$$w \leq \frac{L + \ell}{30}$$



Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Conservadorismo do modelo da laje de pavimento a elevadas temperaturas**
 - Os deslocamentos verticais estimados devido à curvatura térmica são subestimados quando comparados com os valores teóricos
 - A curvatura térmica é calculada com base no menor vão da laje
 - São ignorados quaisquer deslocamentos verticais adicionais induzidos pela restrição da expansão térmica quando a laje está num estado de pós-encurvadura
 - É ignorada qualquer contribuição da chapa de aço perfilada
 - O aumento da ductilidade da rede de armadura com o aumento de temperatura é ignorado



Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Capacidade de suporte de carga do modelo da laje de pavimento melhorada na presença de vigas de aço não protegidas (1)**
 - A ação catenária de vigas não protegidas é desprezada
 - O momento fletor resistente de vigas não protegidas é tido em conta com os seguintes pressupostos:
 - Apoios simples em ambos os lados
 - O aquecimento da secção transversal do perfil de aço é calculado de acordo com o ponto 4.3.4.2 da EN 1994-1-2, considerando o efeito de sombra
 - As propriedades térmicas e mecânicas do aço e do betão são dadas na EN 1994-1-2



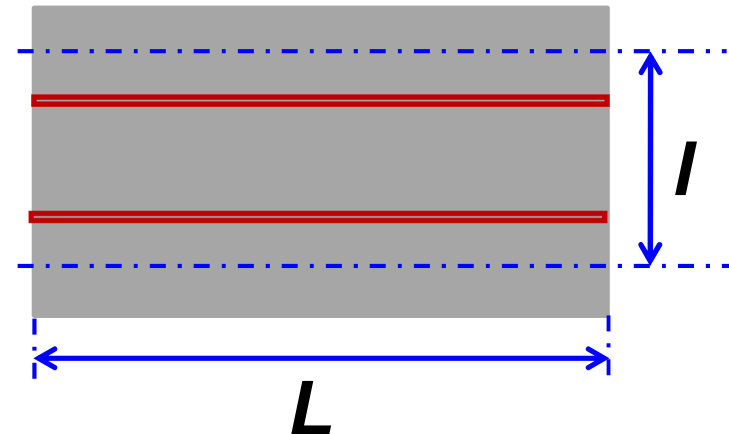
Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas

- Capacidade de suporte de carga do modelo da laje de pavimento melhorada na presença de vigas de aço não protegidas (2)
 - O aumento da capacidade de suporte de carga das vigas não protegidas é:

$$\frac{8M_{fi,Rd}}{L^2} \frac{1 + n_{ub}}{\ell}$$



onde:

n_{ub} é o número de vigas não protegidas

$M_{fi,Rd}$ é o momento resistente de cada viga mista não protegida



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

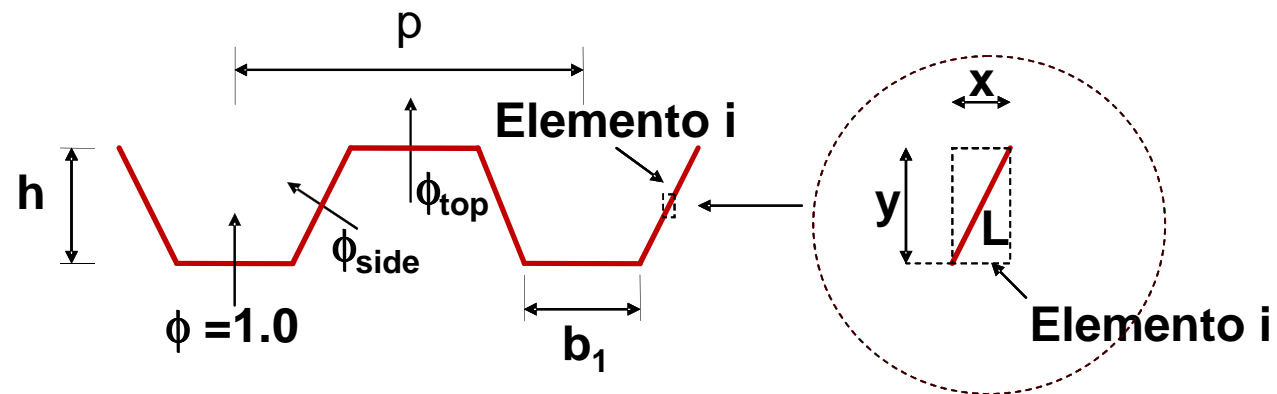
Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Cálculo da temperatura da laje mista**

- **Baseado nos modelos de cálculo avançados**

- Método de diferenças finitas 2D
- Propriedades térmicas dos materiais obtidas a partir da Parte 1-2 do Eurocódigo 4 para aço e betão
- Foi tido em consideração o efeito de sombra para lajes mistas





Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

- **Capacidade de suporte de carga de vigas periféricas protegidas**
 - Mecanismo global plástico do pavimento com base na resistência da viga
 - Razão de carga em situação de incêndio
 - Cargas adicionais em vigas protegidas
 - Método de cálculo simplificado da temperatura crítica (EN 1994-1-2)



Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas

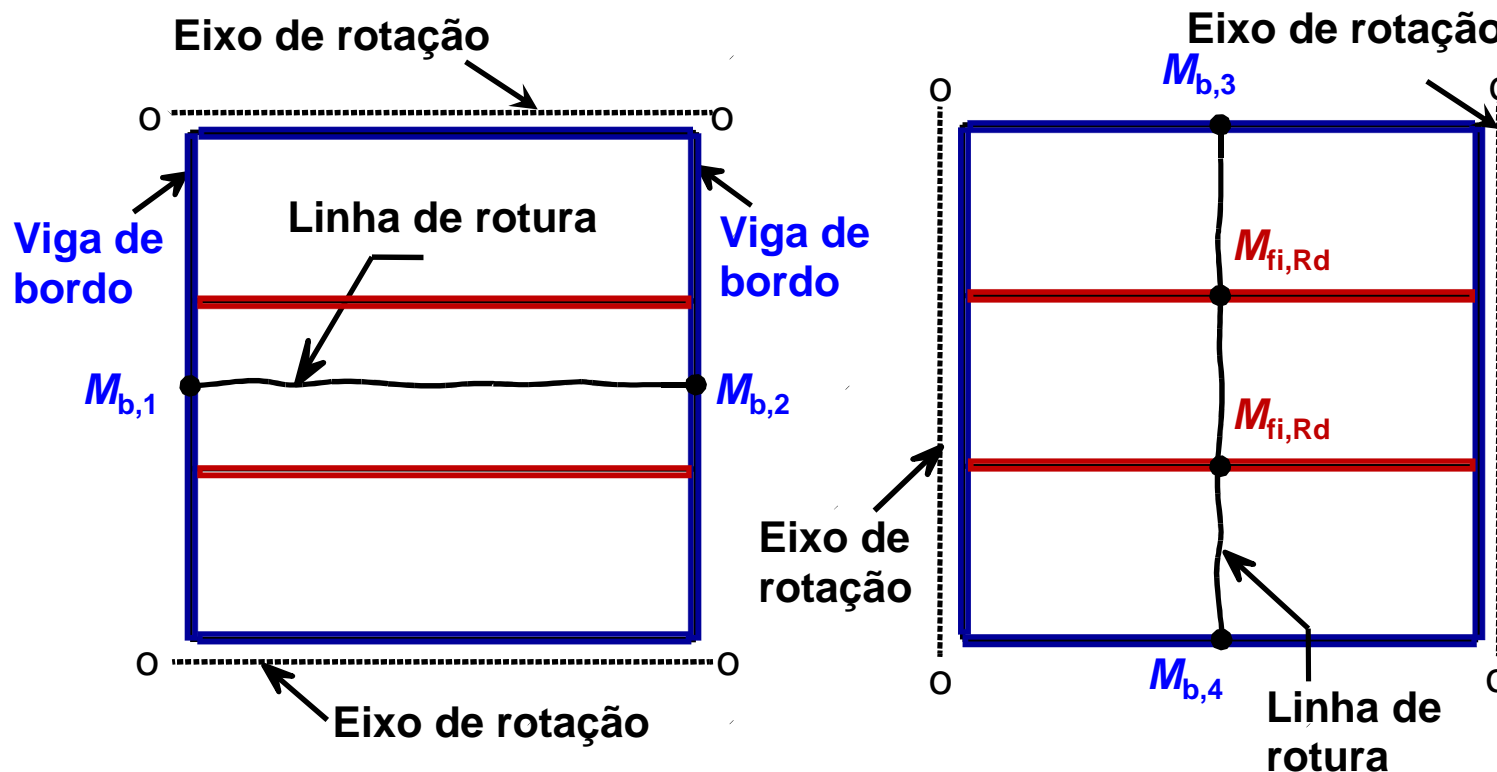


- Capacidade de suporte de carga de vigas periféricas protegidas com base no mecanismo global plástico

Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas





Validação em comparação com resultados de ensaios



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**

7 Ensaios de Cardington à escala real

1 Ensaio BRE de grande escala (a frio mas simulado para incêndio)

10 Ensaios a frio realizados nos anos 1960/1970

15 Ensaios de pequena escala conduzidos pela Universidade de Sheffield em 2004

44 Ensaios de pequena escala a frio e ao fogo realizados pela Universidade de Manchester

Ensaios ao fogo padrão FRACOF e COSSFIRE

Ensaios à escala real realizados pela Universidade de Ulster em 2010.



Comportamento experimental de pequena escala e dimensionamento de lajes de pavimento de betão



Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



22 Ensaios a frio e 22 ensaios a quente idênticos (rede da armadura com ambos aço macio e aço inoxidável)





Resultados obtidos aplicando a metodologia



Comportamento mecânico de pavimentos mistos

Método de cálculo simplificado a 20°C

Método de cálculo simplificado a elevadas temperaturas



40 a 55% das vigas podem ser deixadas não protegidas colocando proteção onde ela é necessária.





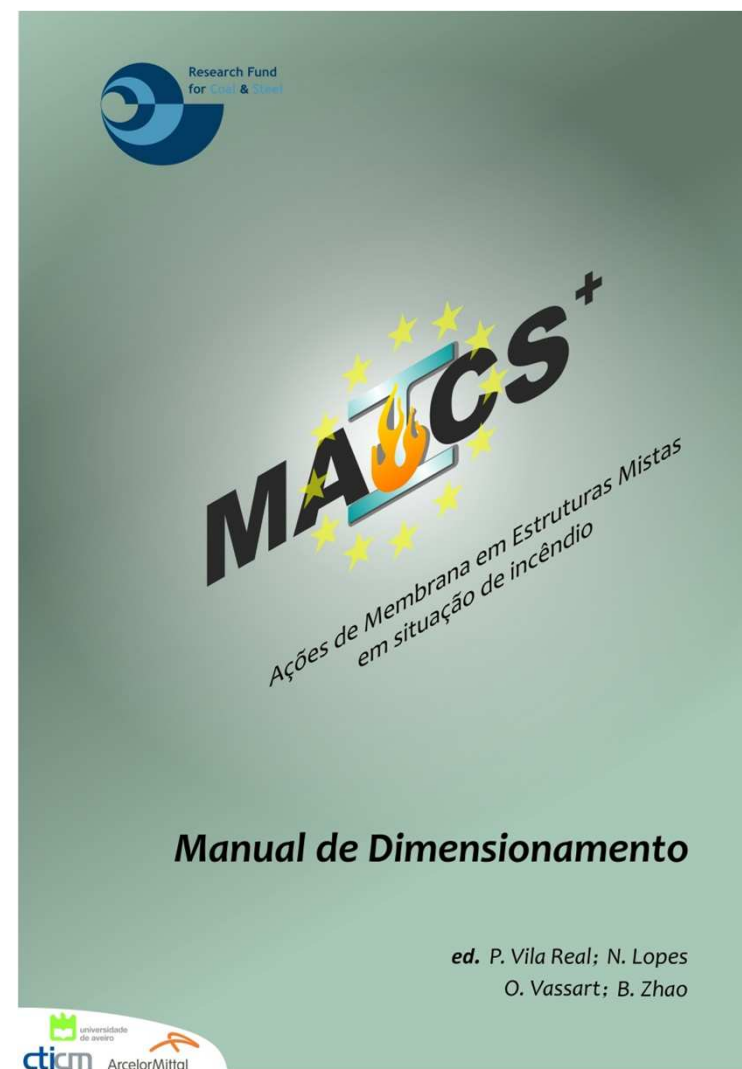
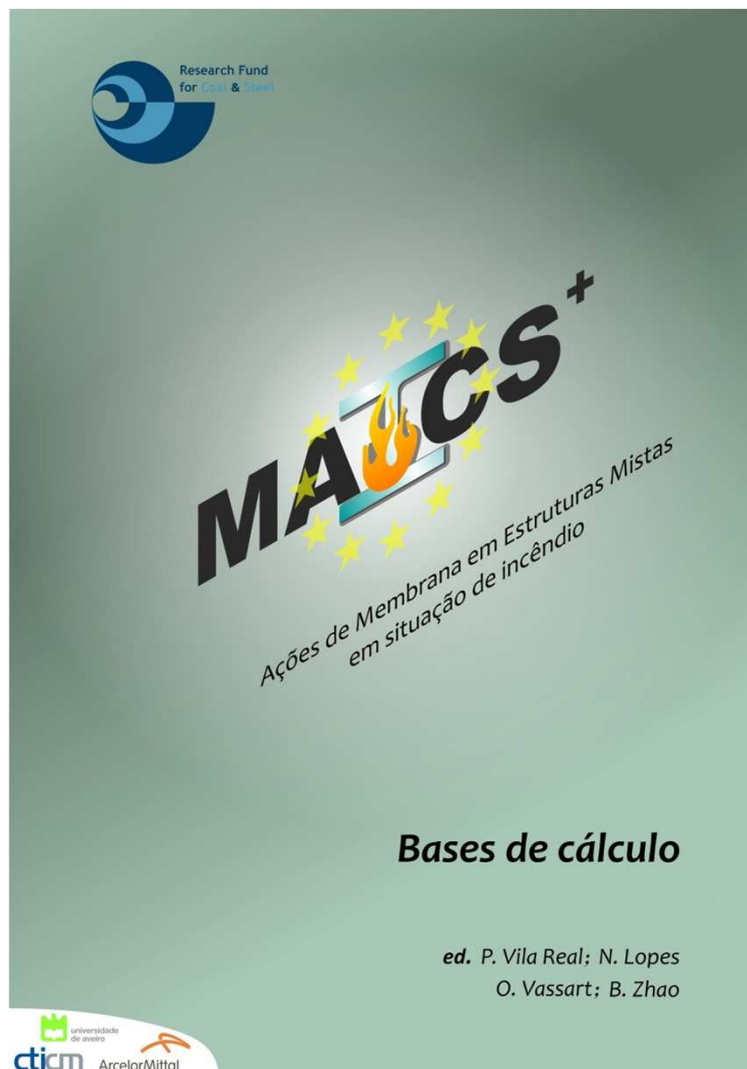
Documentos disponíveis



Comportamento
mecânico de
pavimentos mistos

Método de cálculo
simplificado a 20°C

**Método de cálculo
simplificado a
elevadas
temperaturas**





Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Novas evidências experimentais



- **Objetivos dos novos ensaios ao fogo**
- **Ensaio ao fogo à escala real no âmbito dos projetos:**
 - FRACOF (Ensaio 1 - fogo padrão ISO)
 - COSSFIRE (Ensaio 2 - fogo padrão ISO)
 - FICEB (Ensaio 3 – fogo natural e vigas alveoladas)
- **Set-up do ensaio**
- **Resultados experimentais**
 - Temperaturas
 - Deslocamentos
- **Observações e análises**
- **Comparação com os métodos de cálculo simplificados**
- **Conclusão**



Justificação da realização de mais ensaios ao fogo



Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão

- **Justificação**
 - Ensaio ao fogo de Cardington
 - Excelente desempenho ao fogo sob condições de incêndio natural
 - Max θ do aço ≈ 1150 °C, duração do incêndio ≈ 60 min (> 800 °C)
 - Detalhes construtivos do Reino Unido
- **Objetivos**
 - Confirmar o bom desempenho sob incêndios de longa duração (pelo menos 90 minutos de fogo padrão – ISO)
 - Investigar o impacto dos diferentes detalhes construtivos, assim como da rede de armadura e da proteção ao fogo de vigas de bordo
 - Validar as diferentes ferramentas de segurança contra incêndio



- **Ensaio 1 (FRACOF)**

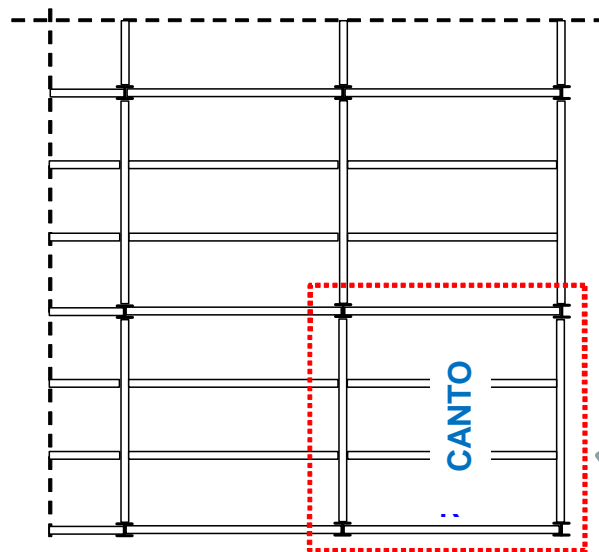
Objetivos

Set-up do ensaio

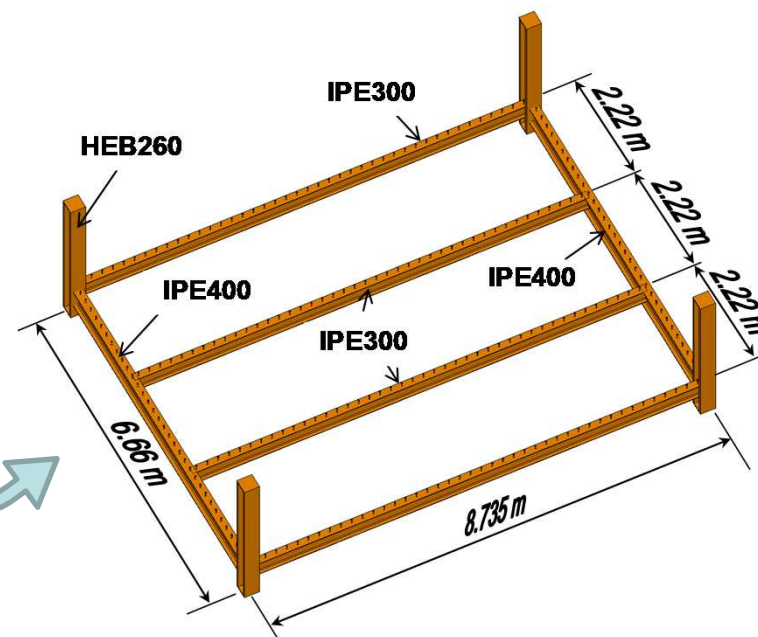
Resultados
experimentais e
observações

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão



**Grelha estrutural de
um edifício real**



**Estruturas de aço
adotadas para o ensaio
ao fogo número 1**



- **Ensaio 2 (COSSFIRE)**

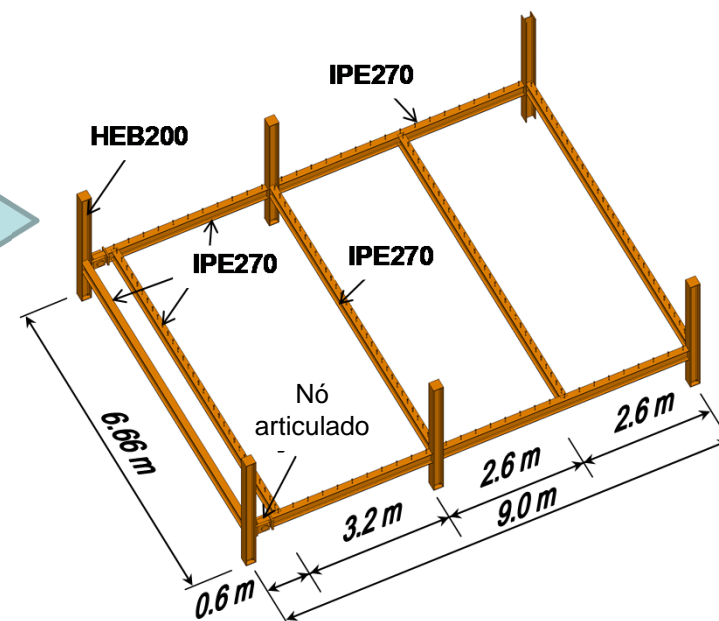
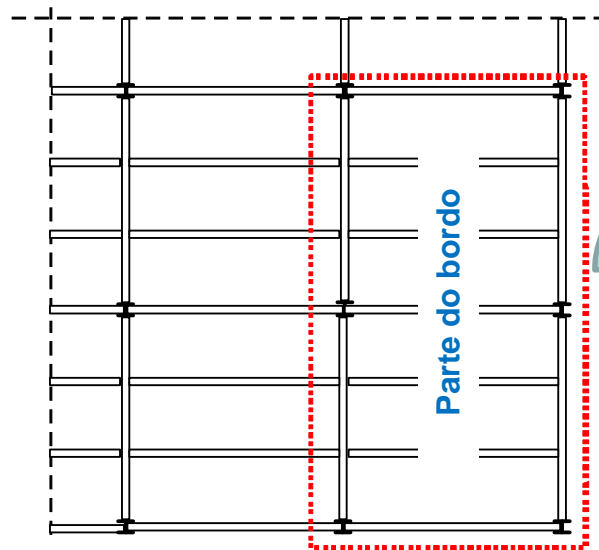
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



Grelha estrutural de um edifício real

Estruturas de aço adotadas para o ensaio ao fogo número 2



- **Sistemas de pavimentos mistos finais**

Objetivos

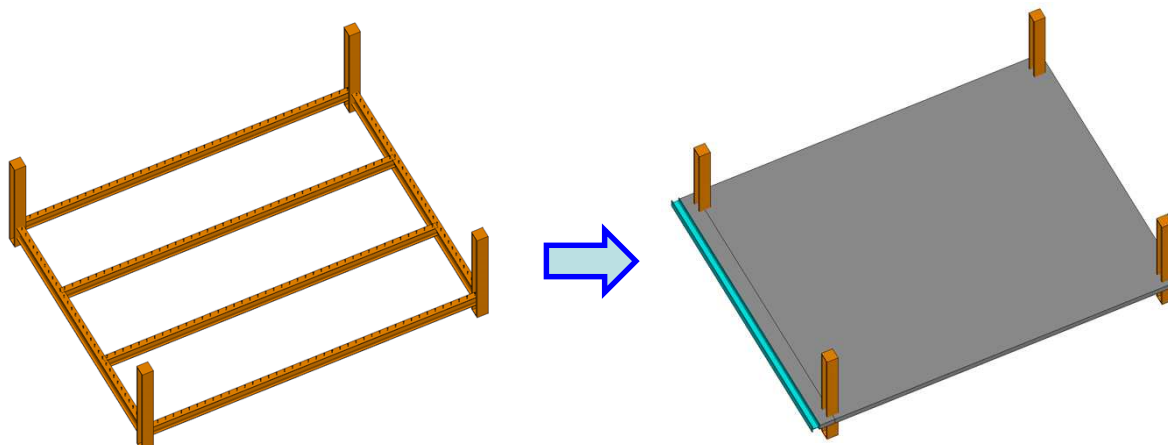
Set-up do ensaio

Resultados
experimentais e
observações

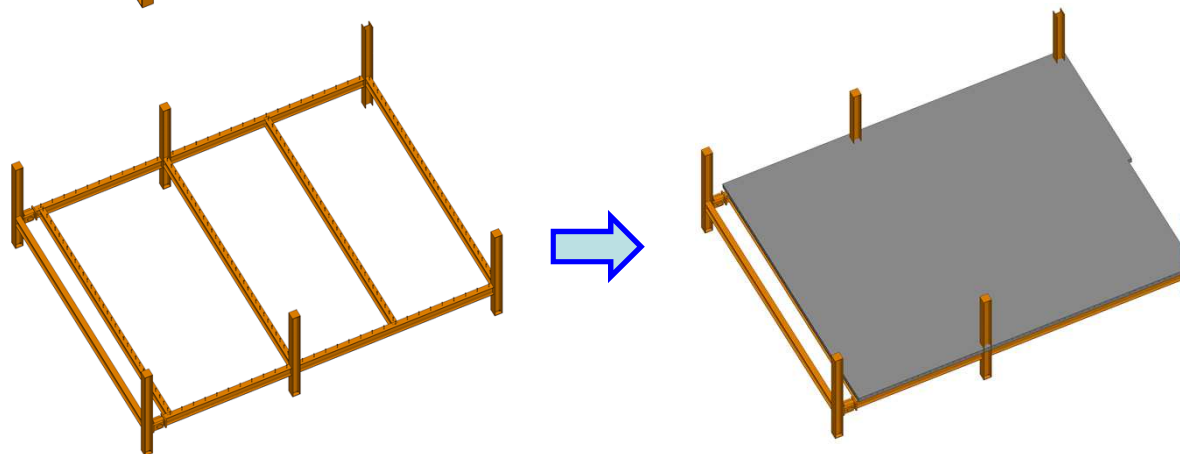
Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão

Ensaio 1



Ensaio 2





Objetivos

- **Estrutura de aço**

- Vigas mistas de aço e betão

- **De acordo com a Parte 1-1 do Eurocódigo 4 (EN 1994-1-1)**

- Pequenos pilares de aço

Set-up do ensaio

Resultados
experimentais e
observações

- **Laje mista**

- Altura total

- **De acordo com a Parte 1-2 do Eurocódigo 4 (EN 1994-1-2)**

- Rede de armadura

- **Baseada nas regras de cálculo simplificado**

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão

- **Ligações de aço**

- Ligações usadas normalmente: cantoneira dupla e chapa de extremidade

- **De acordo com a Parte 1-8 do Eurocódigo 3 (EN 1993-1-8)**



- Disposição dos pernos de cabeça ao longo das vigas de aço

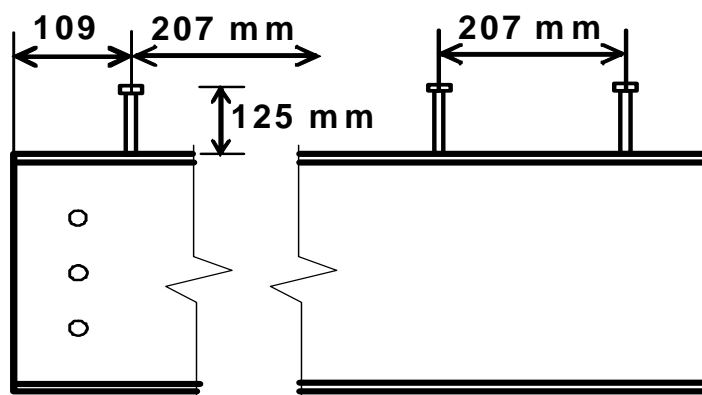
Objetivos

Set-up do ensaio

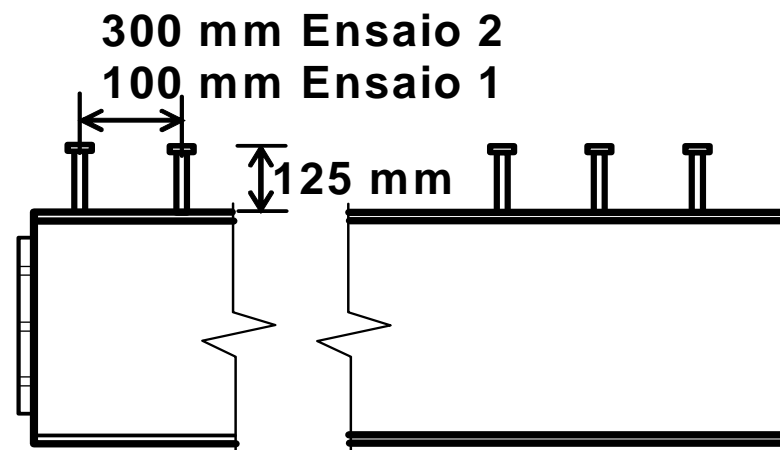
Resultados
experimentais e
observações

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão



Vigas secundárias



Vigas principais

- Tipo de pernos de aço
 - TRW Nelson KB 3/4" – 125 ($\Phi = 19\text{mm}$; $h = 125\text{ mm}$; $f_y = 350\text{ N/mm}^2$; $f_u = 450\text{ N/mm}^2$)



Ligações de aço



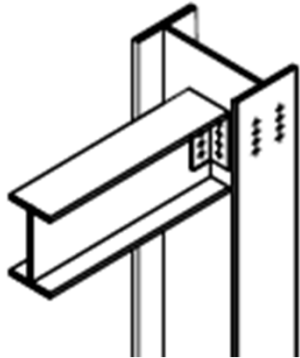
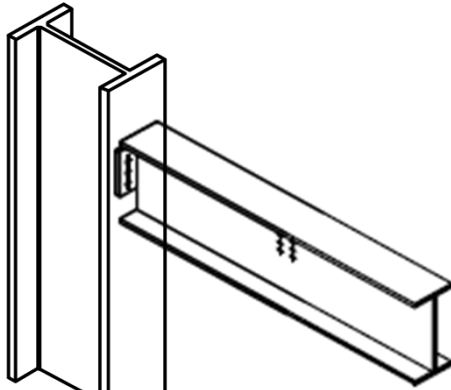
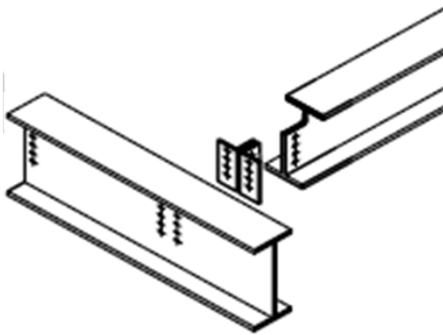
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão

Viga-pilar		Viga-viga
Viga secundária	Viga principal	
Cantoneiras de apoio da alma	Chapas de extremidade flexíveis	Cantoneiras de apoio da alma
		

Classe dos parafusos de aço: 8.8

Diâmetro dos parafusos de aço: 20 mm



Dimensões dos elementos estruturais



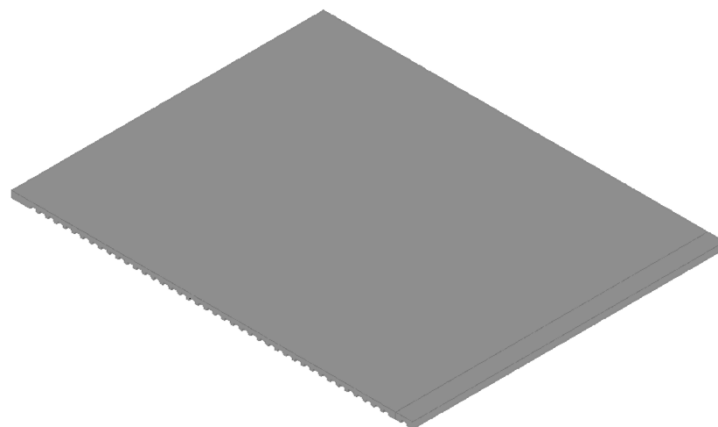
Objetivos

Set-up do ensaio

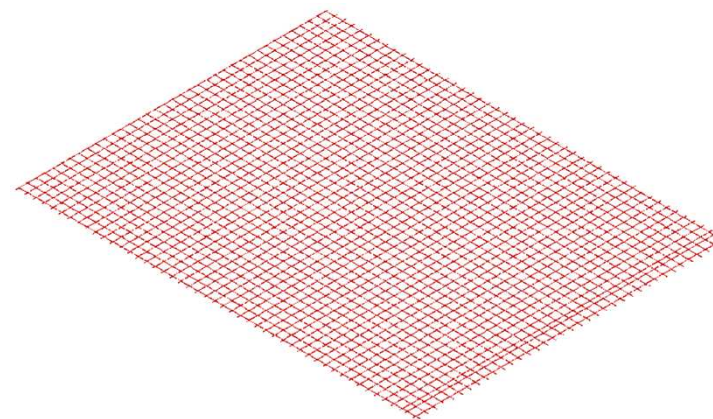
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

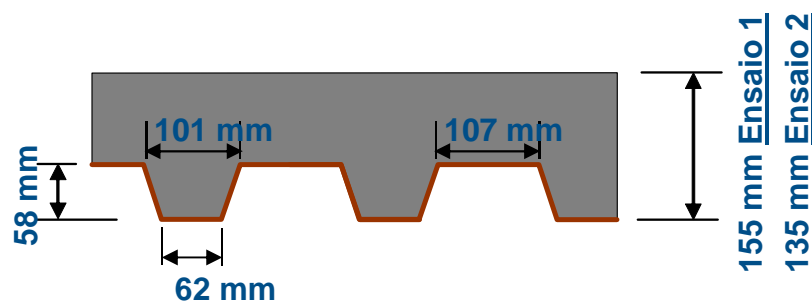
Conclusão



Laje mista



Rede de armadura



Chapa de aço perfilada:
COFRAPLUS60 – 0.75 mm

Classe de betão: C30/37

Dimensão da rede: 150x150

Diâmetro: 7 mm

Classe de aço: S500

Distância do eixo ao topo da laje:

• 50 mm Ensaio 1

• 35 mm Ensaio 2



Condições de carregamento mecânico



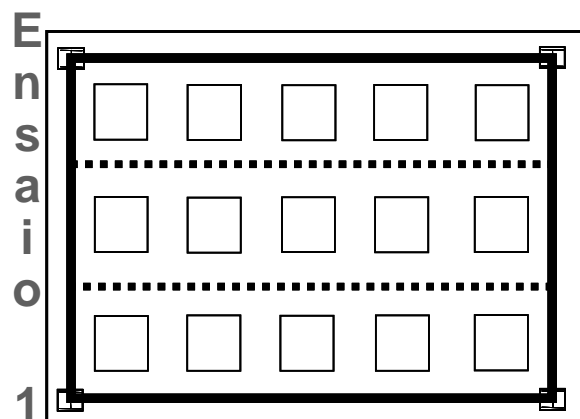
Objetivos

Set-up do ensaio

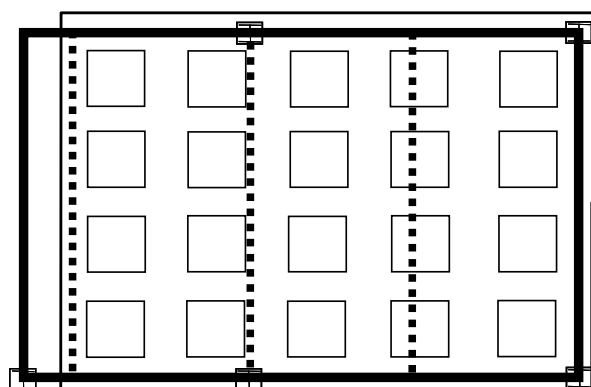
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



15 sacos de areia de 1512 kg
Carga uniforme equivalente:
390 kg/m²



Ensaio 2



20 sacos de areia de 1098 kg
Carga uniforme equivalente:
393 kg/m²



Preparação do ensaio ao fogo 2



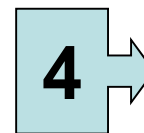
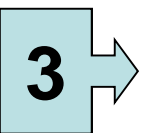
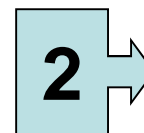
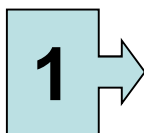
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão





Comportamento do pavimento durante o incêndio



Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



Depois do ensaio



Antes do ensaio



Vigas secundárias não protegidas

Laje mista



Estrutura do ensaio 3 (FICEB)



Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados
experimentais e
observações

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão





Estrutura do ensaio 3



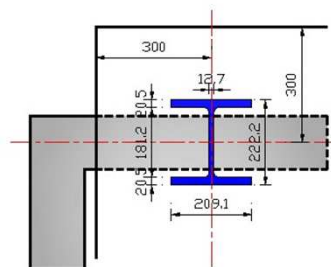
Objetivos

Set-up do ensaio

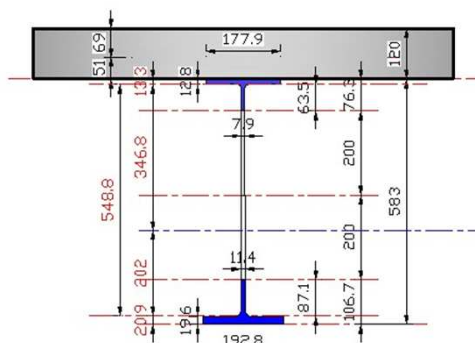
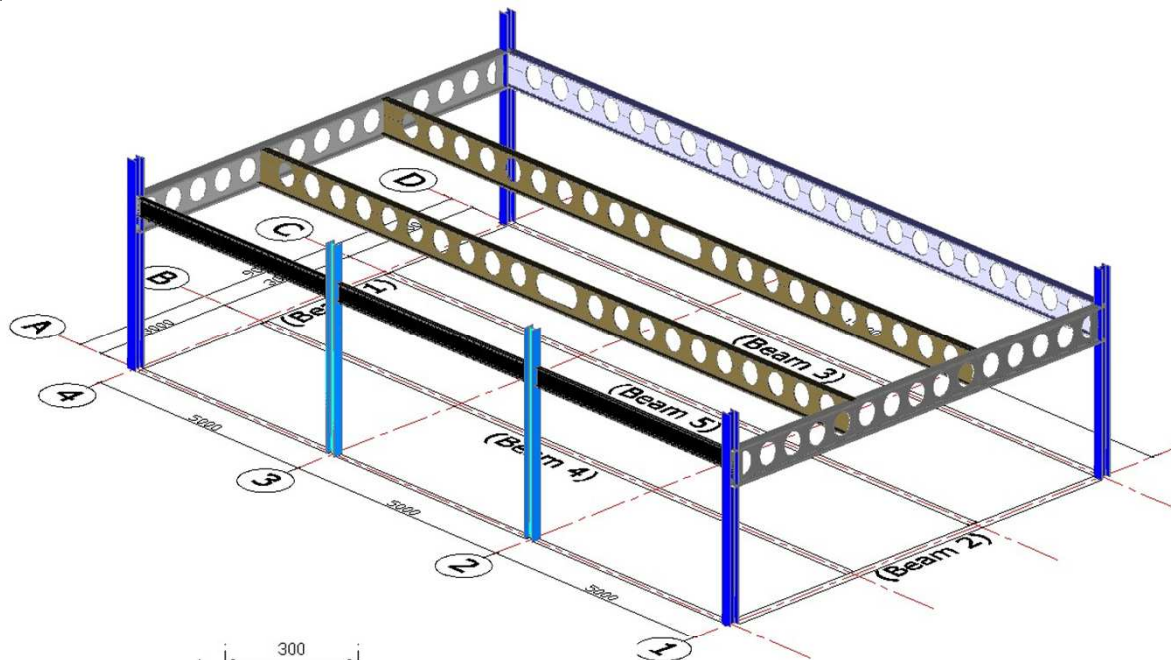
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

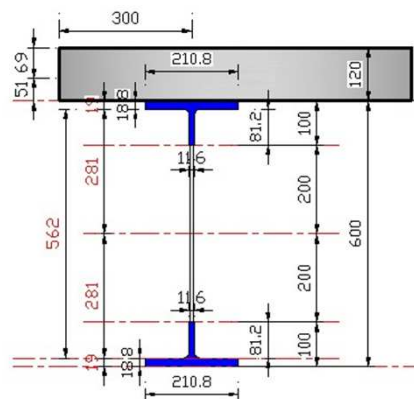
Conclusão



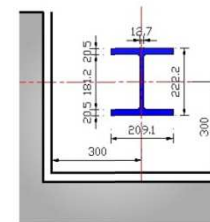
(Pilar GL-A)



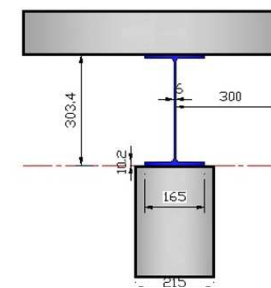
(Viga 3/4/5)



(Viga 1/2)



(Pilar GL-D)



(Viga de secção transversal cheia)



Estrutura do ensaio 3



Ligações viga-viga

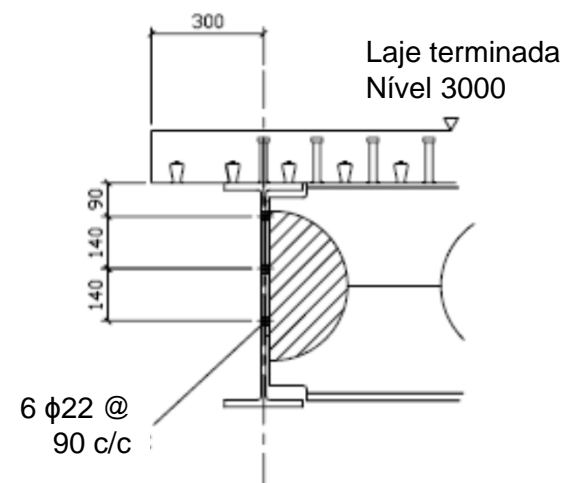
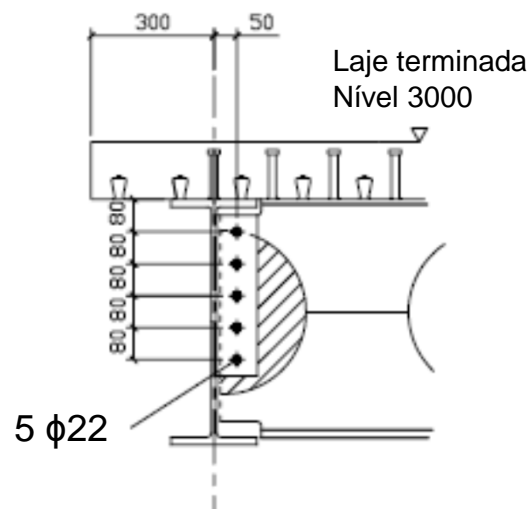
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão





Estrutura do ensaio 3



Ligações viga-pilar

Objetivos

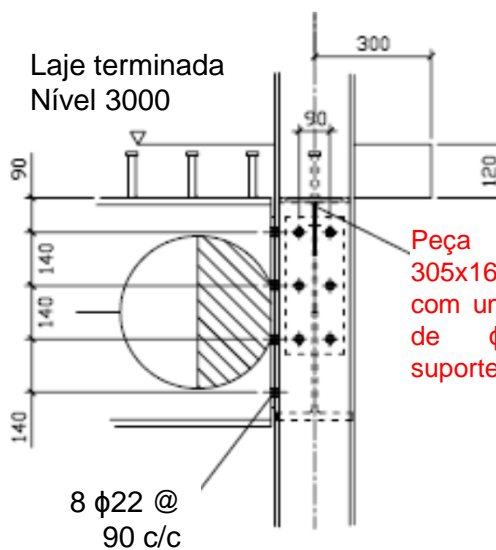
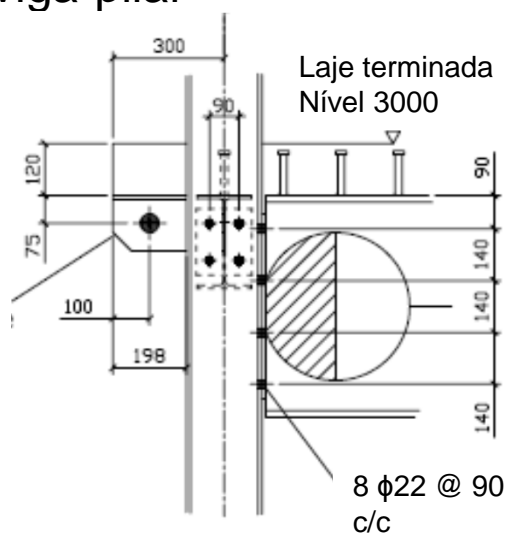
Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão

Peça em T de 305x165x40 UB com uma abertura de $\phi 22$ para suporte CHS



Peça em T de 305x165x40 UB com uma abertura de $\phi 22$ para suporte CHS





Estrutura do ensaio 3



Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados
experimentais e
observações

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão



Rede de armadura A393 , diâmetro 10mm



Interação total: entre laje e vigas, conseguida através de conectores de corte, diâmetro 19 mm, $h=95\text{mm}$
São adicionados varões em forma de U para assegurar um reforço correto da laje.



Estrutura do ensaio 3



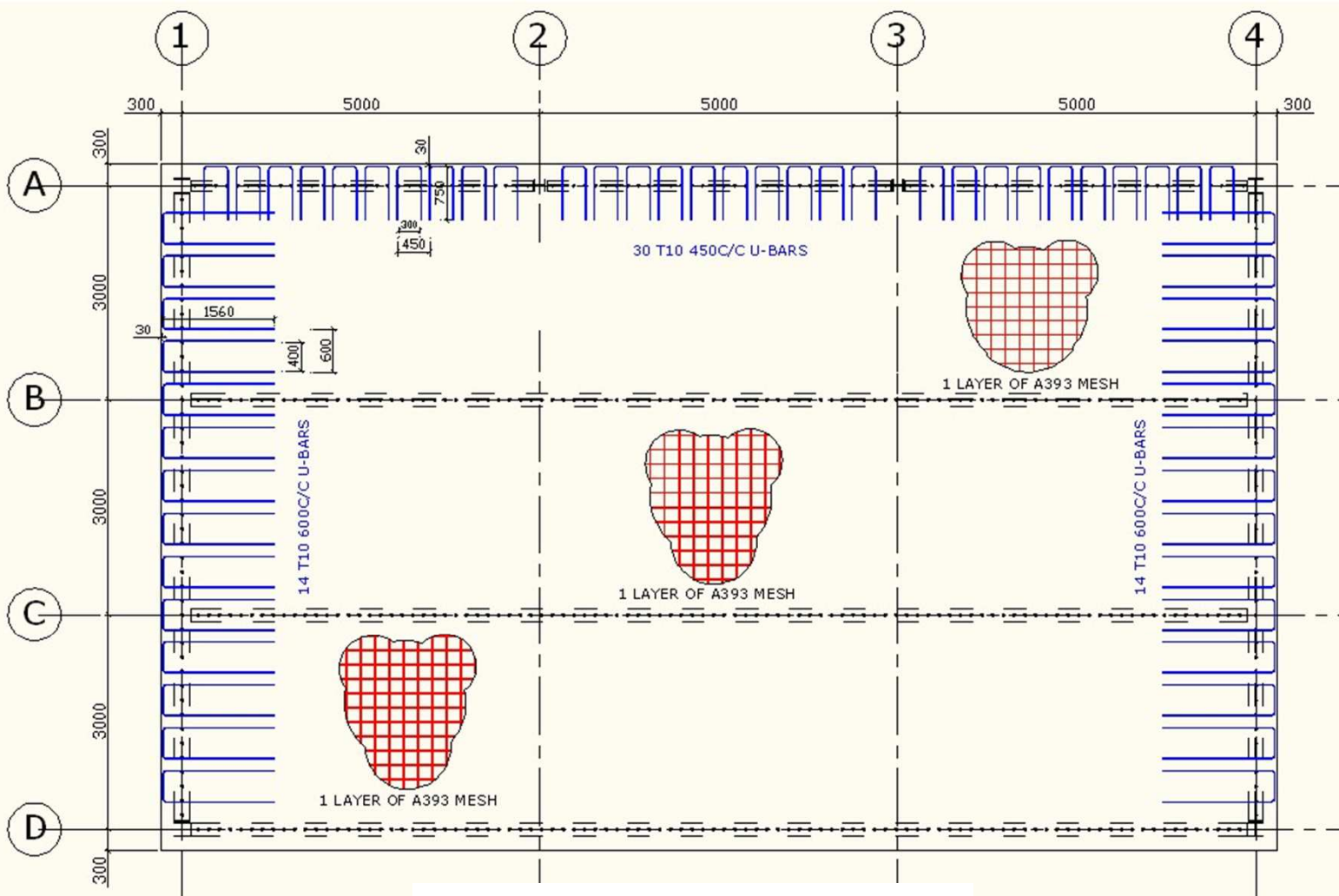
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados
experimentais e
observações

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão



Vista do topo da laje



Estrutura do ensaio 3



Objetivos

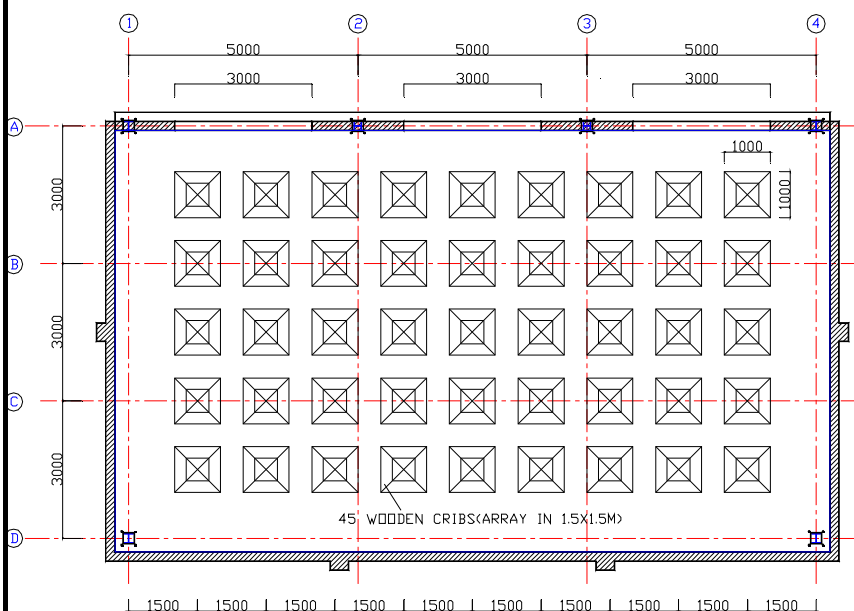
Densidade de carga de incêndio de valor igual a 700MJ/m^2
A carga de incêndio foi obtida usando 45 paletes de madeira (1m x 1m x 0.5 m) distribuídas uniformemente por todo o compartimento (9.0m x 15.0m).

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



Localização das paletes de madeira





Resultados experimentais



Objetivos

Set-up do ensaio

**Resultados
experimentais e
observações**

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão

- **Evolução da temperatura**
- **Aquecimento de vigas de aço não protegidas**
- **Aquecimento de elementos de aço protegidos**
- **Aquecimento da laje mista**
- **Deformação do piso**
- **Observações sobre o comportamento dos sistemas de pavimento misto**
 - Fissuração e esmagamento do betão
 - Rotura da rede de armadura durante o ensaio
 - Colapso das vigas de bordo



- **Evolução da temperatura**

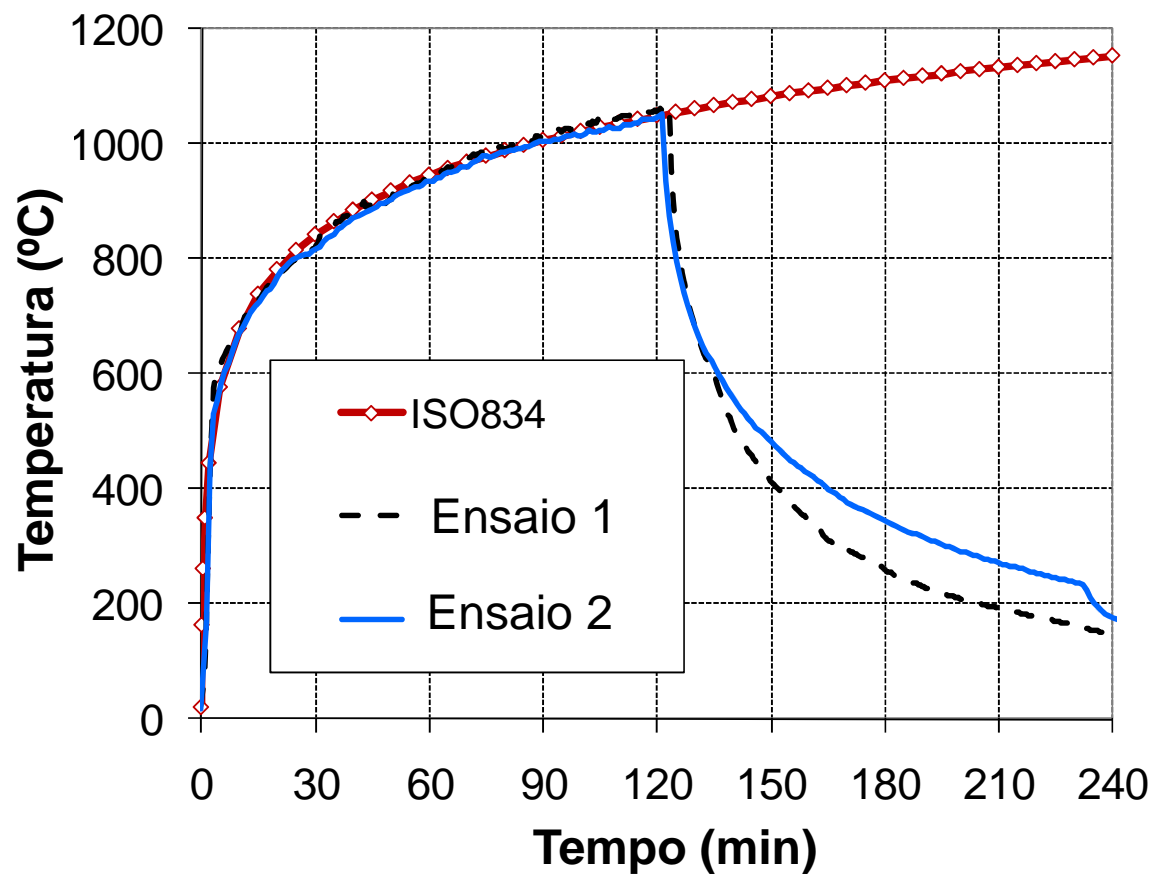
Objetivos

Set-up do ensaio

**Resultados
experimentais e
observações**

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão





Resultados experimentais



Objetivos

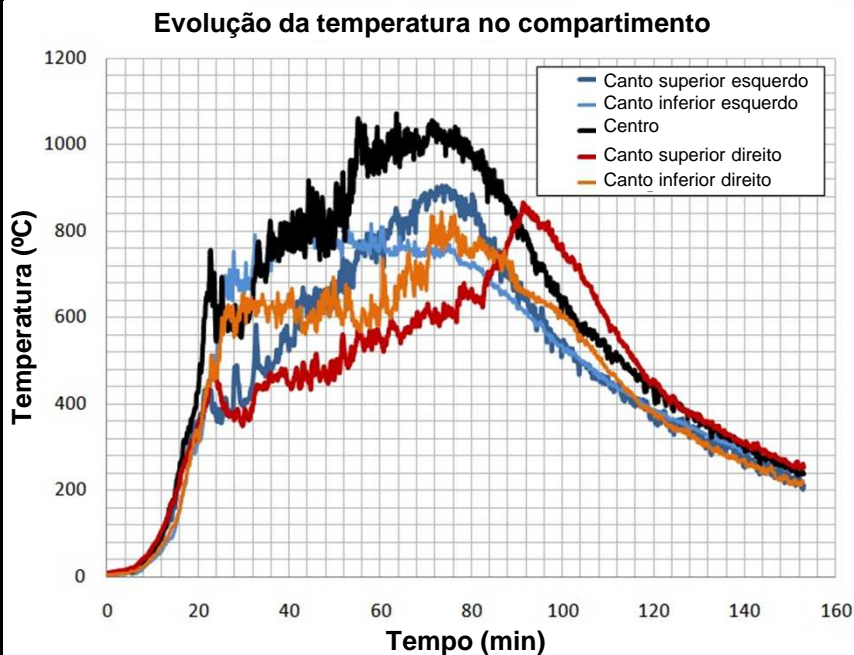
Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

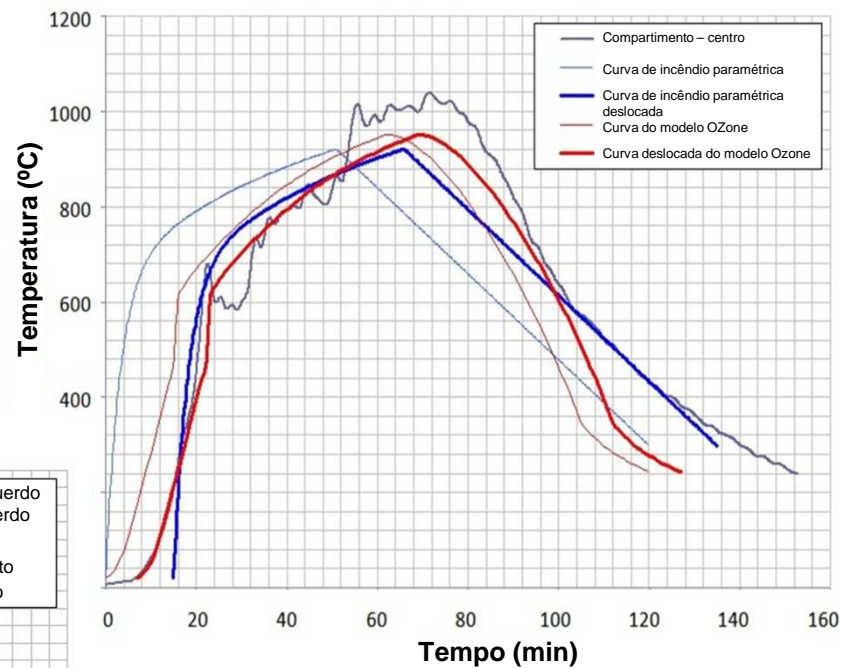
Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão

- **Ensaio 3: evolução da temperatura**



Evolução da temperatura no meio do compartimento





- **Aquecimento de vigas de aço não protegidas**

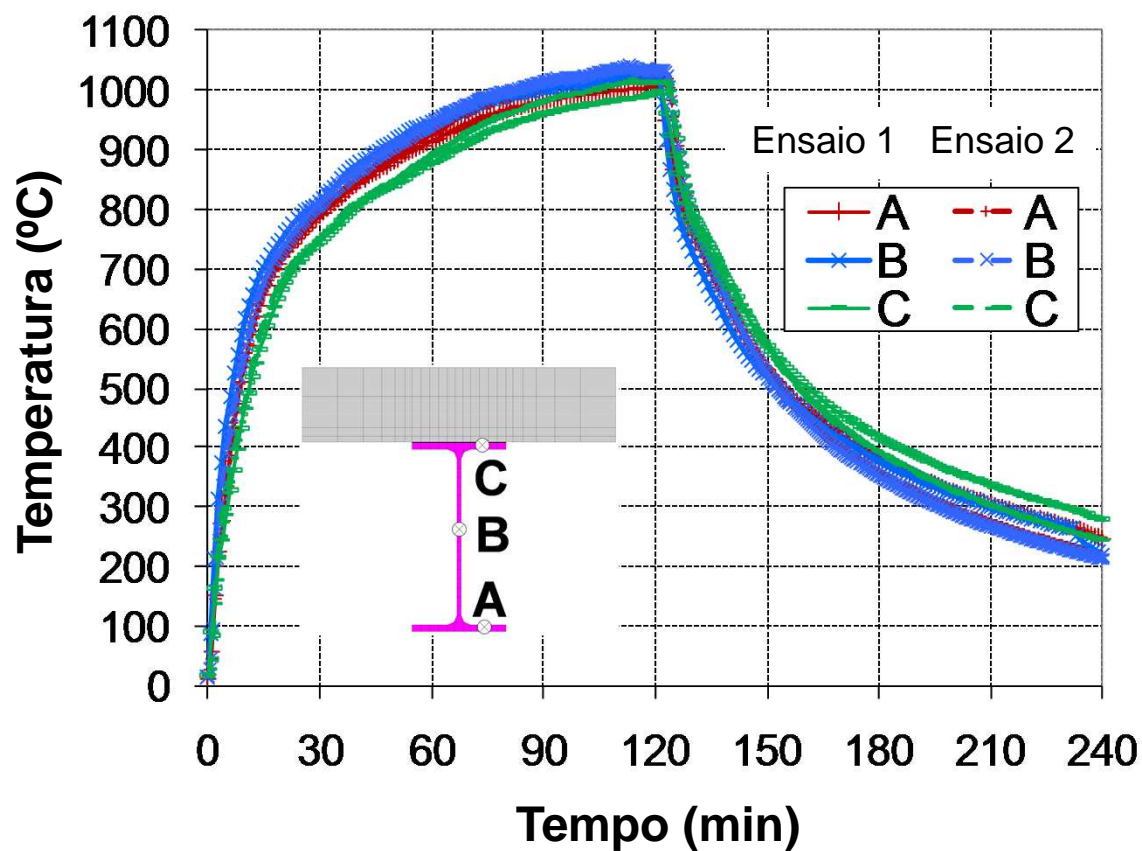
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão





- **Ensaio 3: aquecimento de vigas de aço não protegidas**

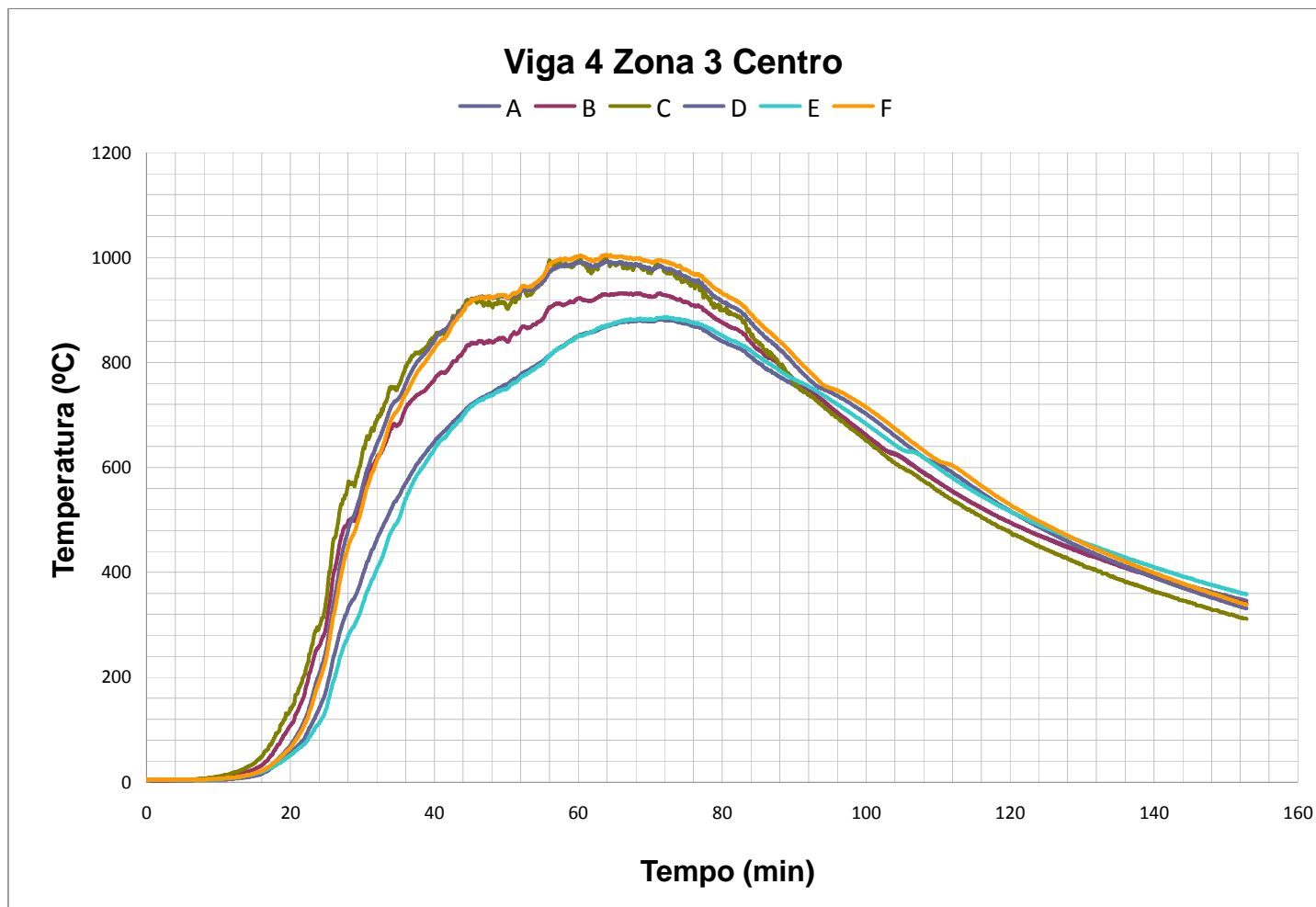
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão





• Aquecimento de vigas de aço protegidas

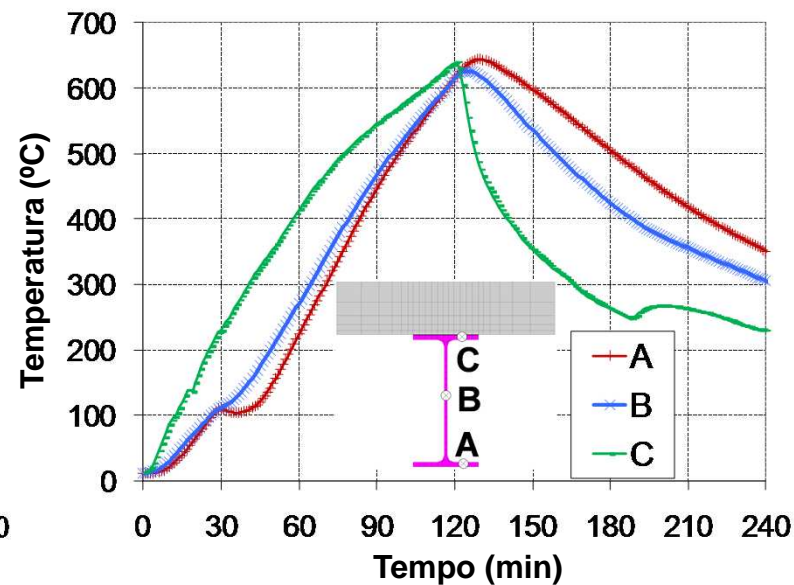
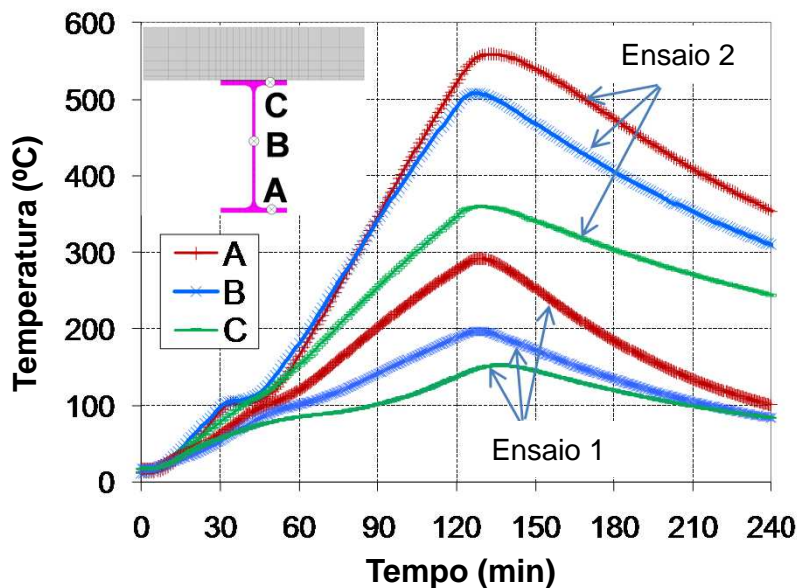
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



• Observação

- Vigas muito mais quentes no ensaio 2 ≈ 550 °C e uma viga secundária de bordo aqueceu até mais de 600 °C



Resultados experimentais



- **Aquecimento da laje mista**

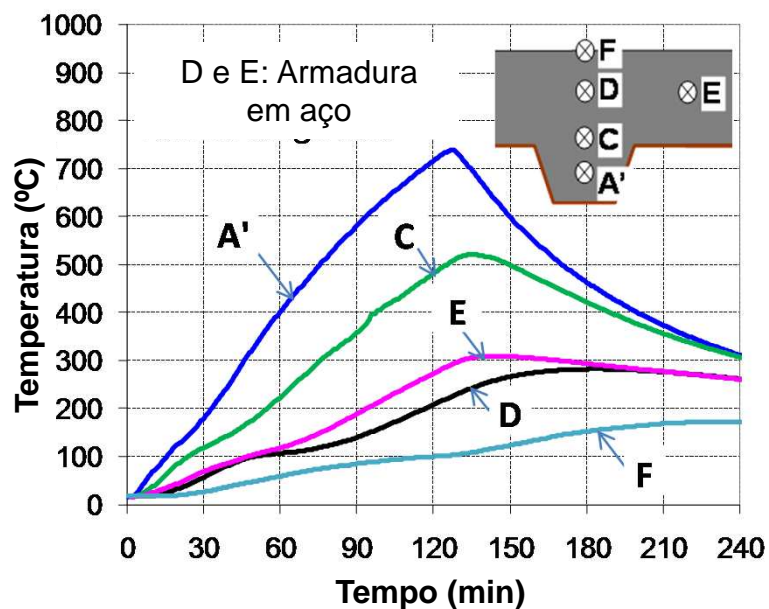
Objetivos

Set-up do ensaio

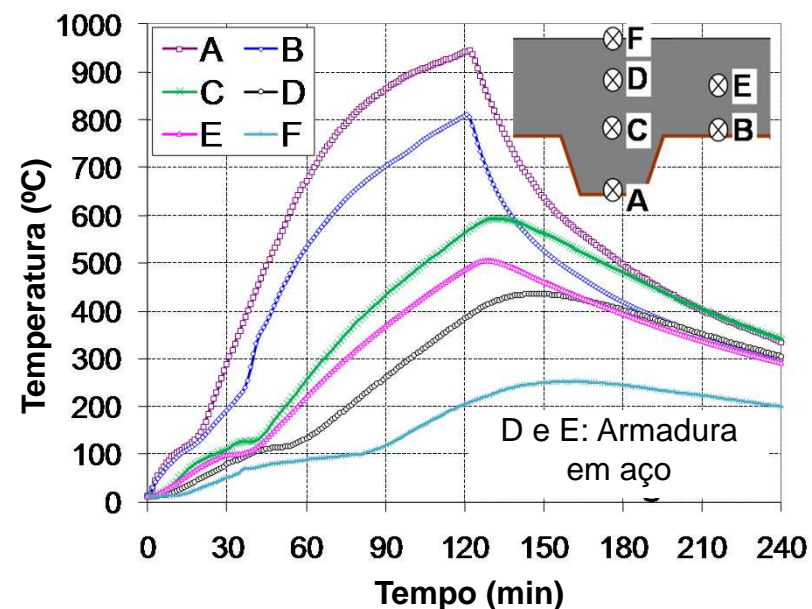
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



Ensaio 1



Ensaio 2



Resultados experimentais



- Ensaio 3: aquecimento da laje mista

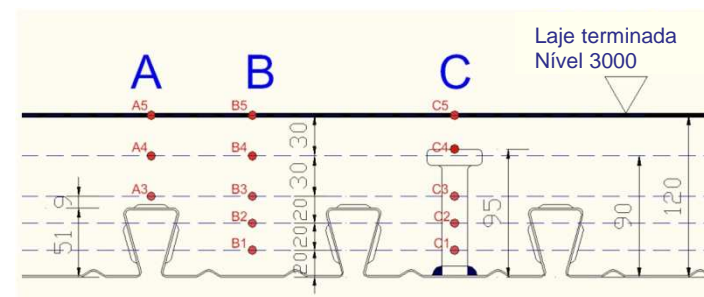
Objetivos

Set-up do ensaio

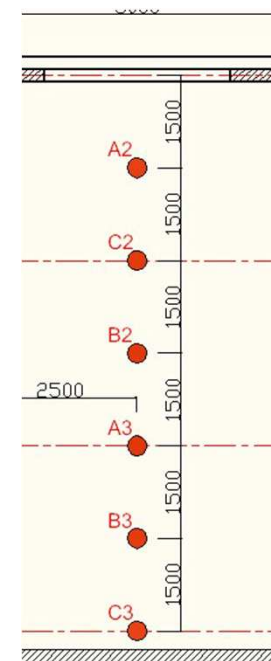
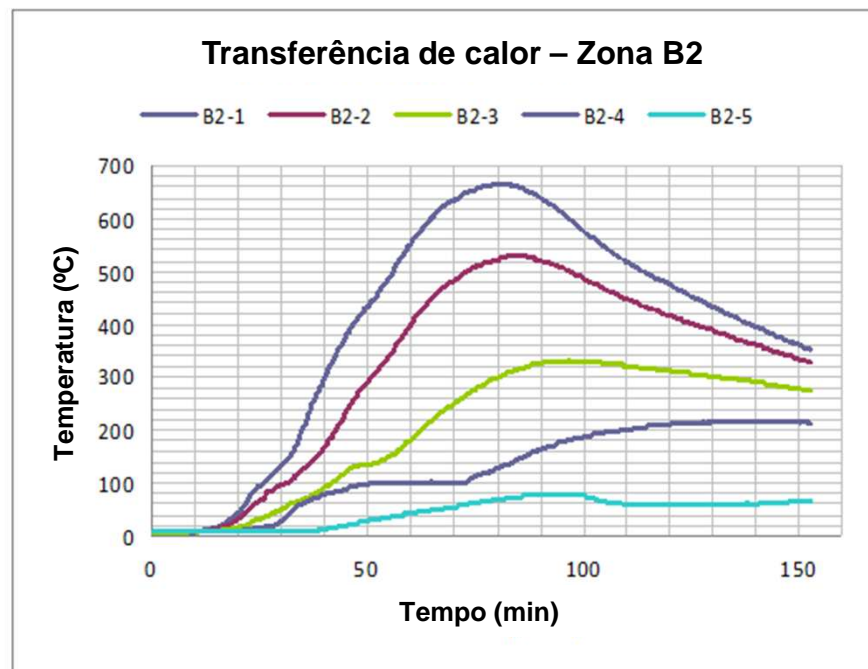
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



T/C na laje / Conector de corte





- Transdutores de deslocamento para deformação

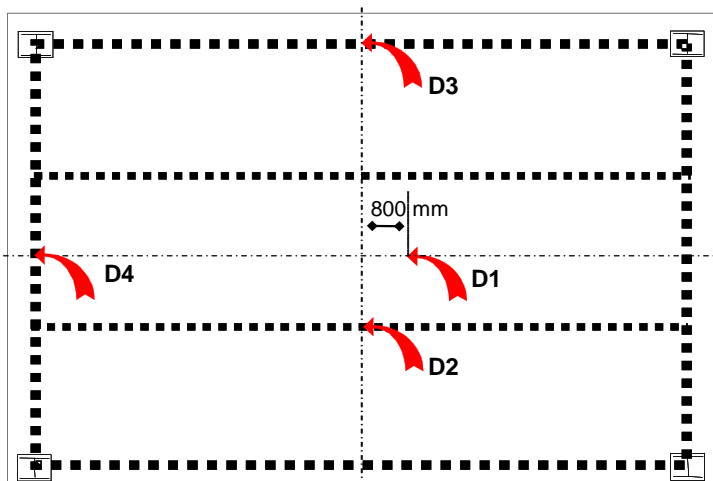
Objetivos

Set-up do ensaio

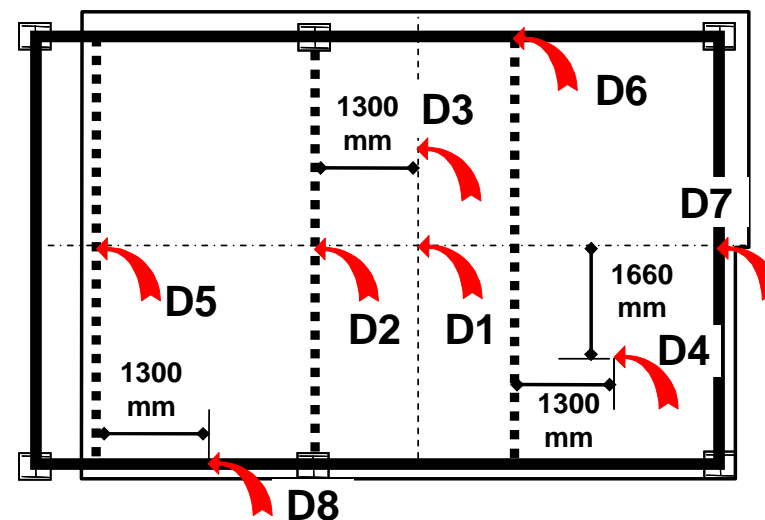
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



Ensaio 1



Ensaio 2



Resultados experimentais



- **Deformação dos pavimentos**

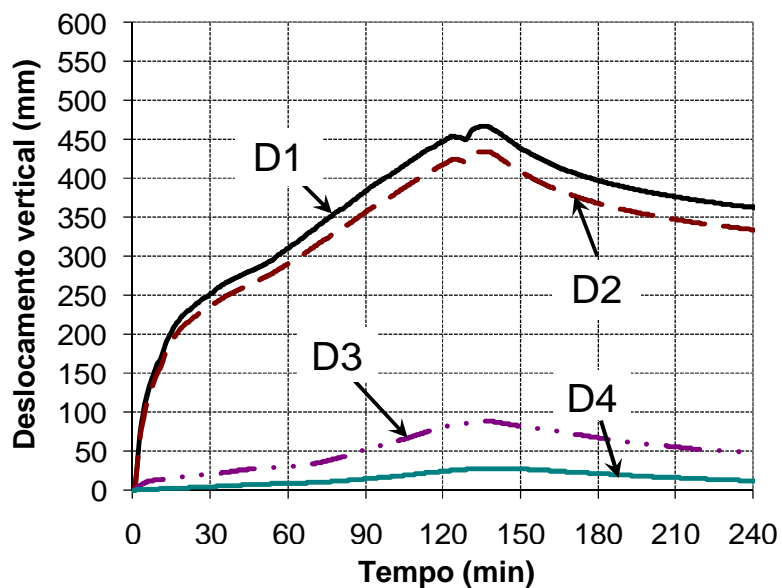
Objetivos

Set-up do ensaio

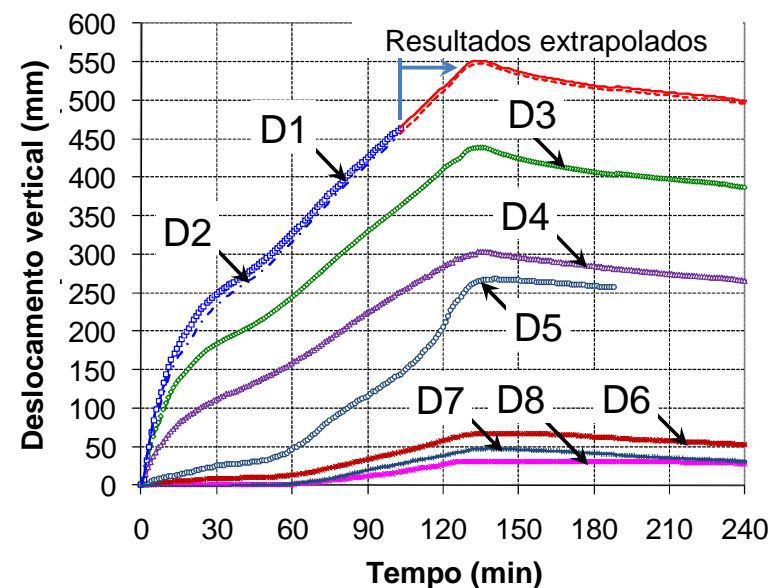
Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



Ensaio 1



Ensaio 2



Resultados experimentais



- **Ensaio 3: Transdutores de deslocamento para deformação**

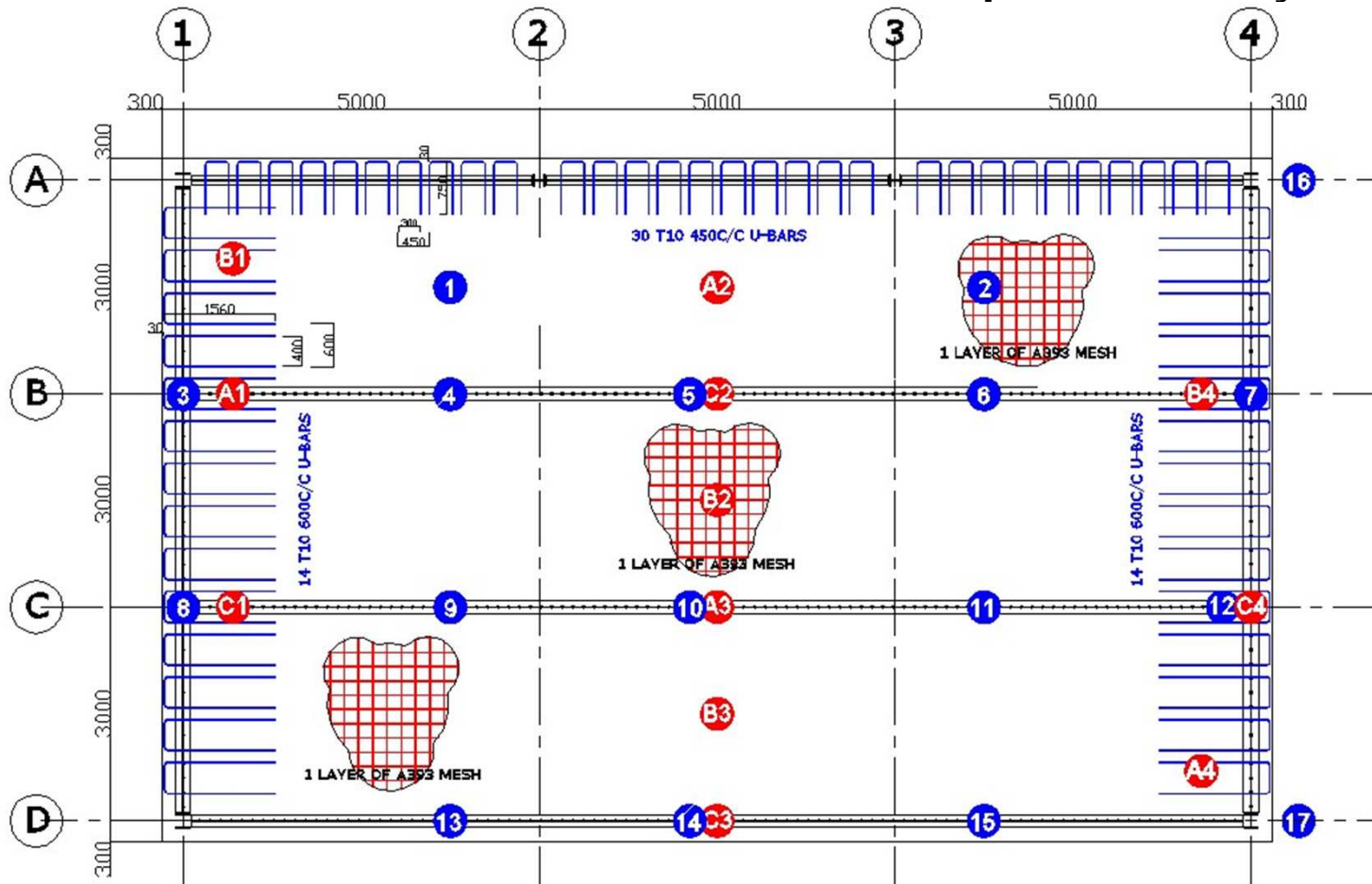
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



LOCALIZAÇÃO DOS APARELHOS DE MEDIDA (T/C & LVDT)



- **Ensaio 3: Deformação do pavimento**

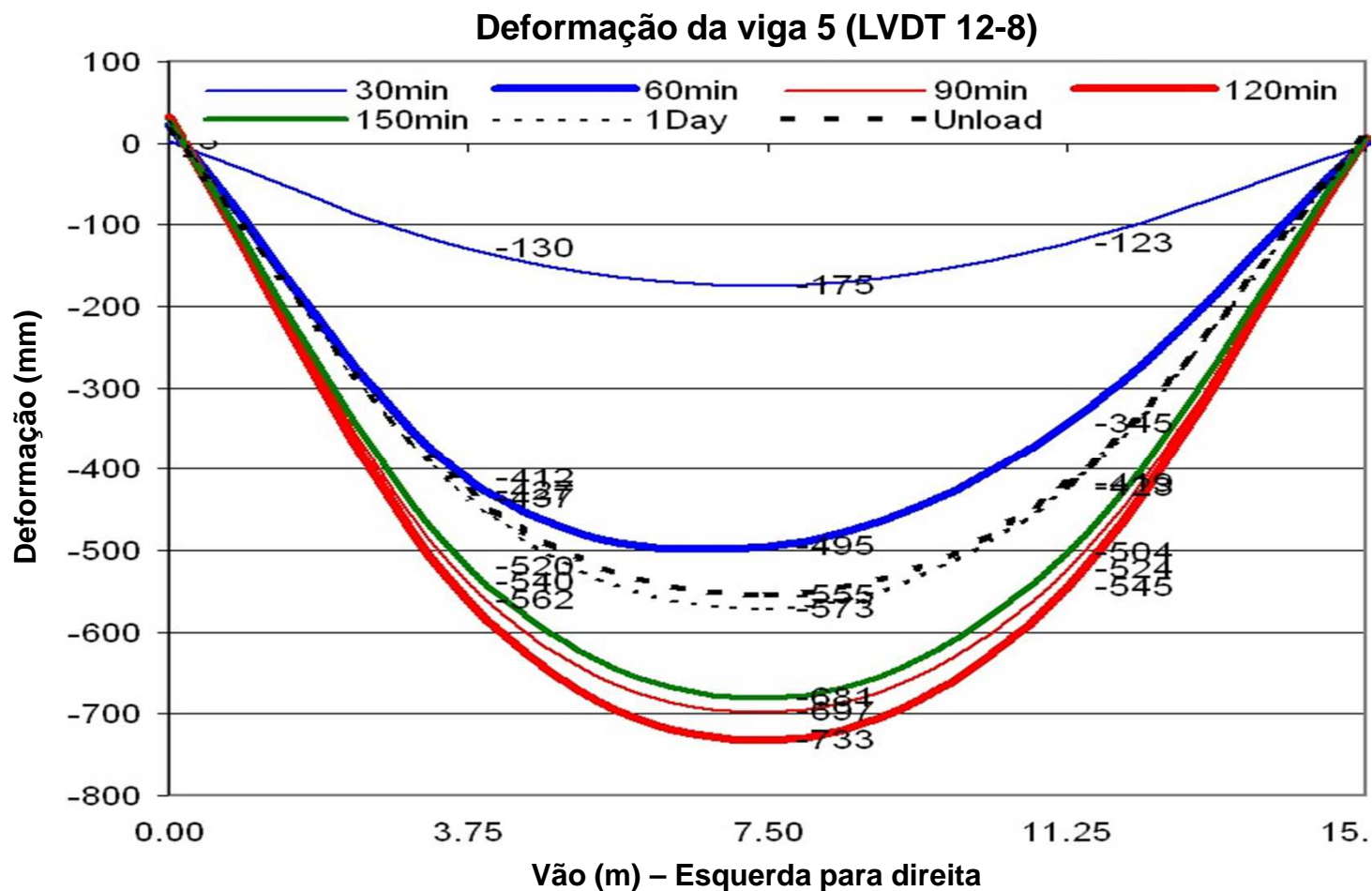
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão





- **Fissuração do betão (Ensaio 1)**

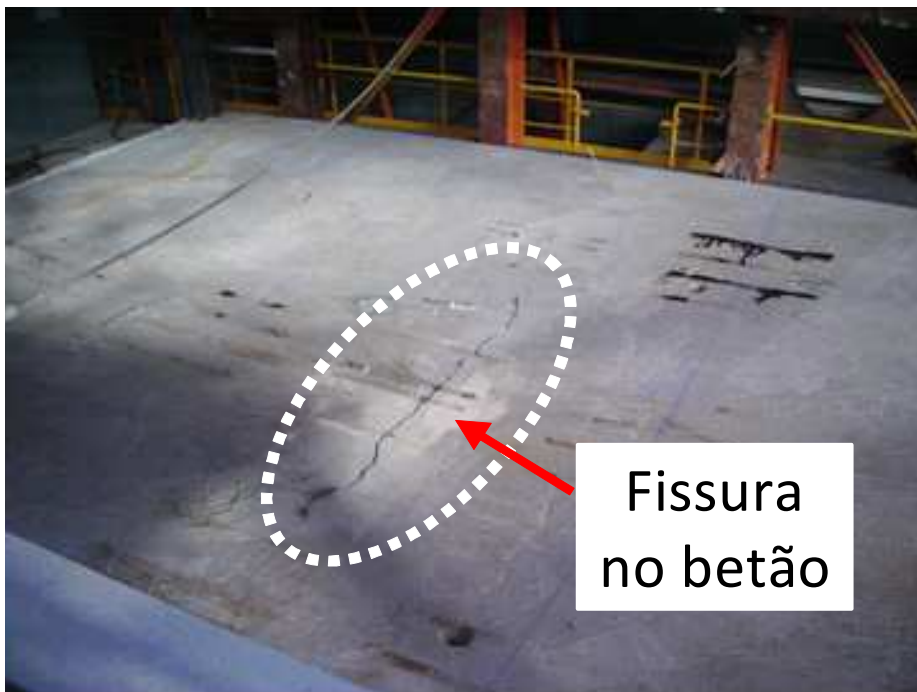
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



- **Observação**

- Excelente estabilidade global do pavimento apesar da rotura da rede da armadura



- **Fissuração do betão (Ensaio 3)**

Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



- **Observação**

- Excelente estabilidade global do pavimento apesar do aparecimento da fissura



- **Instabilidade da alma da viga (Ensaio 3)**

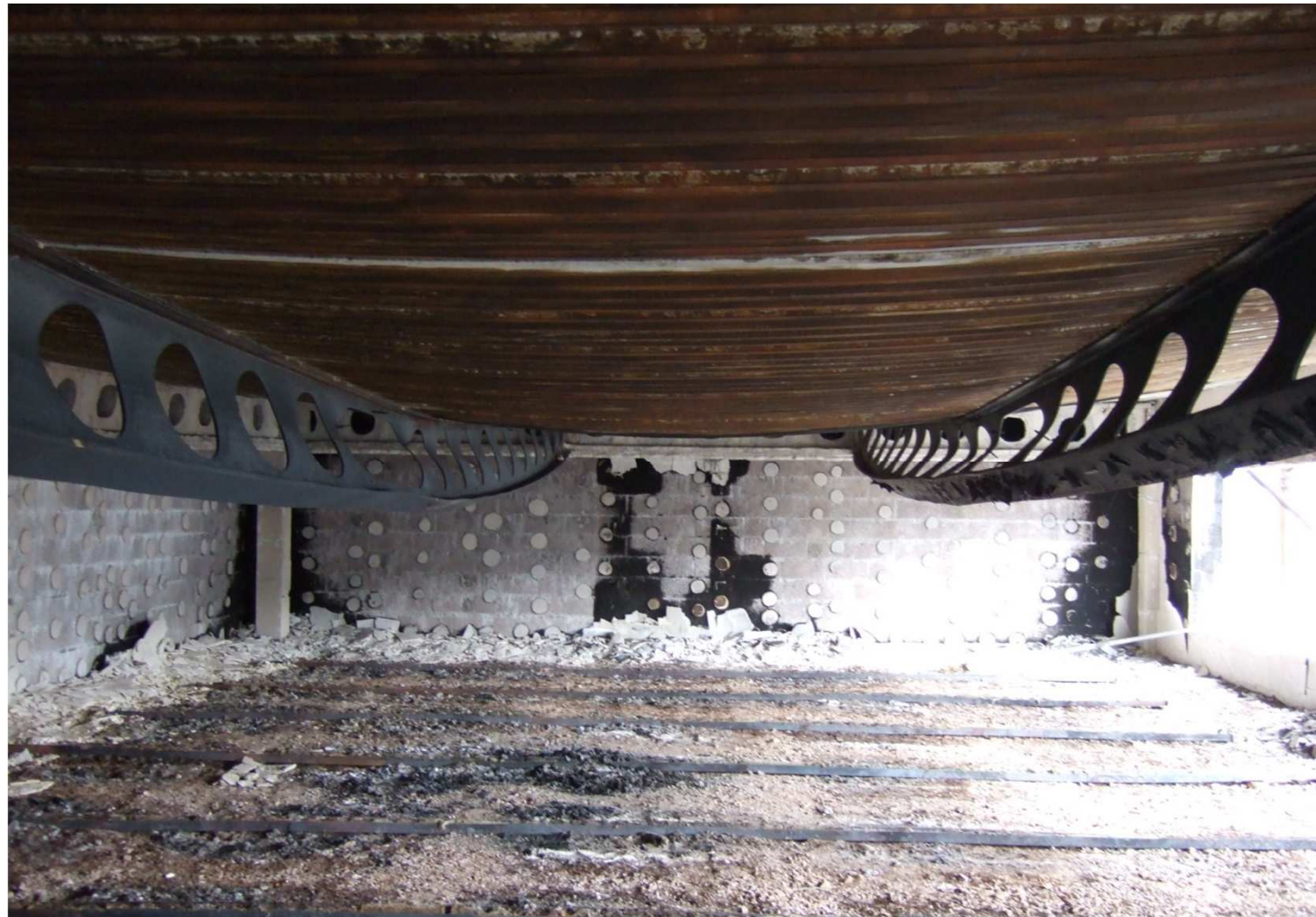
Objetivos

Set-up do ensaio

**Resultados
experimentais e
observações**

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão





- **Esmagamento do betão (Ensaio 2)**

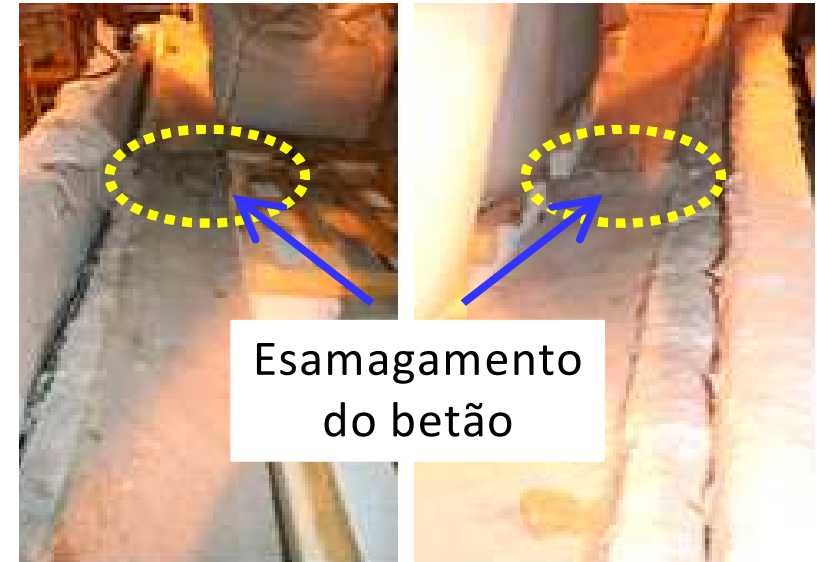
Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados experimentais e observações

Comparação com o método de cálculo simplificado

Conclusão



- **Observação**

- A estabilidade global do pavimento manteve-se adequada apesar da rotura de uma viga de bordo



Comparação com as regras de dimensionamento simplificado



Objetivos	Ensaio 1		Ensaio 2		
	Ensaio	Métodos de cálculo simplificado	Ensaio	Métodos de cálculo simplificado	
Set-up do ensaio					
Resultados experimentais e observações					
Comparação com o método de cálculo simplificado					
	Classificação ao fogo (min)	> 120	120	> 120	96
	Deformação (mm)	450	366^(*)	510	376^(*)

Conclusão

- **Observação**
 - Resultados experimentais:
 - **Classe de resistência ao fogo > 120 minutos**



Objetivos

Set-up do ensaio

Resultados
experimentais e
observações

Comparação com o
método de cálculo
simplificado

Conclusão

- **Conclusões gerais relativas aos novos ensaios ao fogo**
 - Excelente desempenho dos sistemas de pavimento misto comportando-se sob ação de membrana durante a exposição ao fogo padrão ISO (>120 minutos);
 - **Nível elevado de robustez do sistema de pavimento misto apesar de algumas falhas locais;**
 - Deve prestar-se especial atenção aos detalhes construtivos, nomeadamente à rede da armadura, de forma a assegurar um bom desempenho no que diz respeito ao critério de estanquidade;
 - **O método de cálculo simplificado está do lado da segurança em comparação com os resultados dos ensaios;**
 - Não houve nenhum sinal de rotura dos sistemas de pavimento misto durante a fase de arrefecimento.



Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Estudo paramétrico numérico do método de cálculo simplificado



Conteúdos da apresentação

- **Objetivos do estudo paramétrico**
- **Propriedades do estudo paramétrico**
- **Análises de elementos finitos**
- **Validação do modelo numérico**
- **Efeito de continuidade na fronteira do painel**
- **Resultados do estudo paramétrico**
- **Conclusão**



Objetivos do estudo paramétrico

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Bases de cálculo**
 - **FRACOF (Ensaio 1)- COSSFIRE (Ensaio 2) ensaios ao fogo padrão à escala real**
 - Excelente desempenho ao fogo dos sistemas de pavimento misto (presença de ação de membrana de tração)
 - Max θ do aço ≈ 1000 °C, duração do fogo > 120 min
 - Detalhes construtivos Franceses
 - Deformação ≈ 450 mm
 - **FICEB (Ensaio 3) ensaio ao fogo natural à escala real com Vigas Alveoladas**
- **Objetivo**
 - **Verificação do Método de Cálculo Simplificado em todo o seu domínio de aplicação (usando modelos de cálculo avançados)**
 - Limite de deformação do piso
 - Extensão da armadura em aço



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

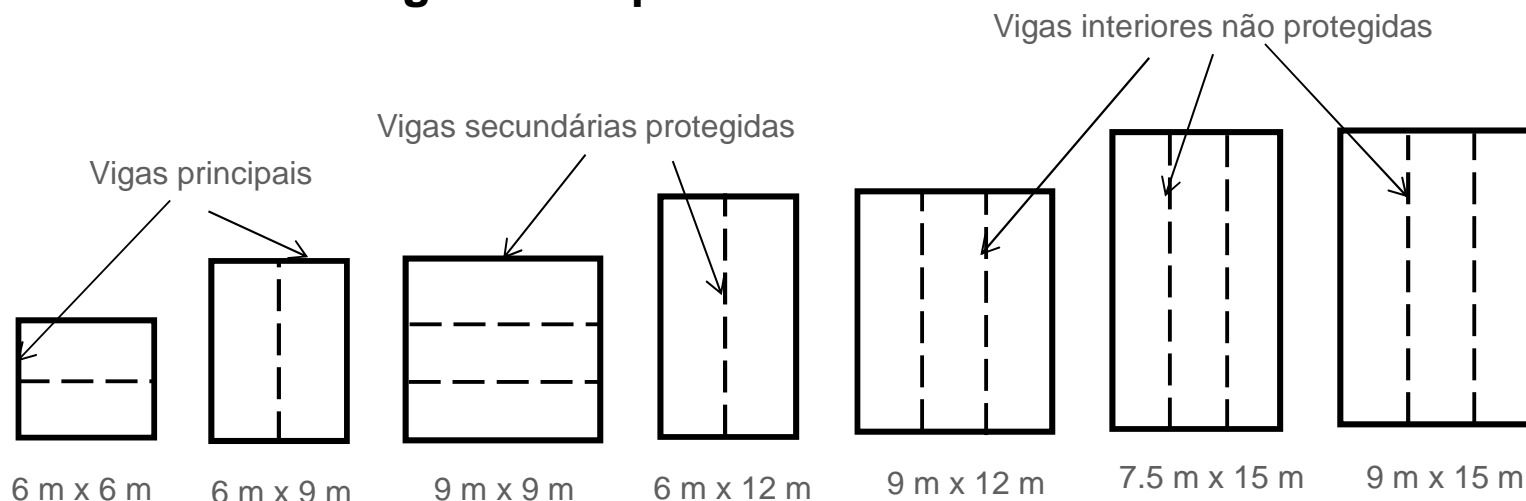
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

• Dimensão da grelha do pavimento



• Níveis de carga

Combinação de cargas em situação de incêndio para edifícios de escritório, de acordo com o EC0:

G (Carga permanente) + 0.5 Q (Carga imposta)

G = Peso Próprio + 1.25 kN/m²

Q = 2.5 & 5 kN/m²



Objetivos

Propriedades do
estudo paramétrico

Análises de
elementos finitos

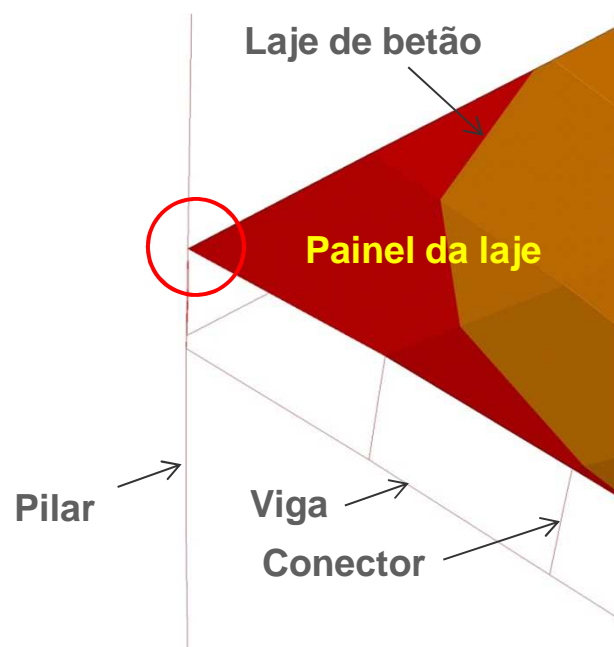
Validação do modelo
numérico

Efeito das condições
fronteira

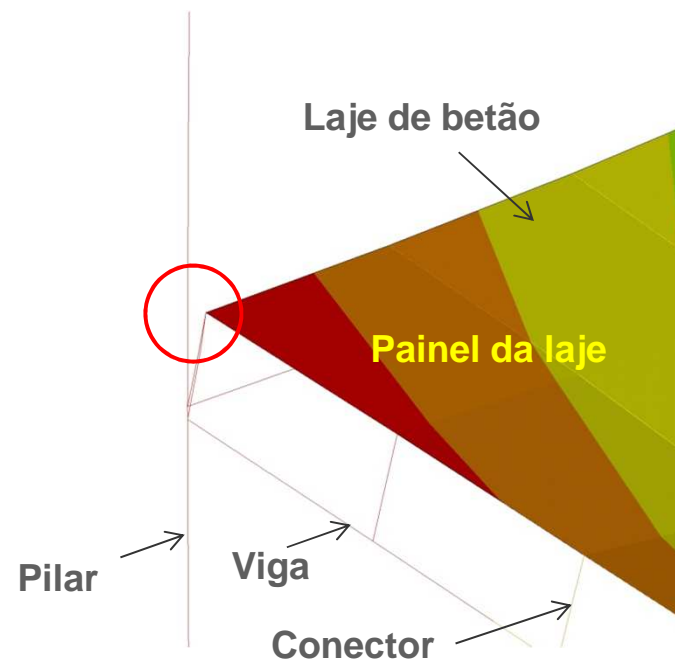
Resultados do
estudo paramétrico

Conclusão

- **Condição de ligação entre o pavimento e os pilares de aço**



**Com ligação mecânica entre
a laje e os pilares**



**Sem ligação mecânica entre
a laje e os pilares**



Objetivos

Propriedades do
estudo paramétrico

Análises de
elementos finitos

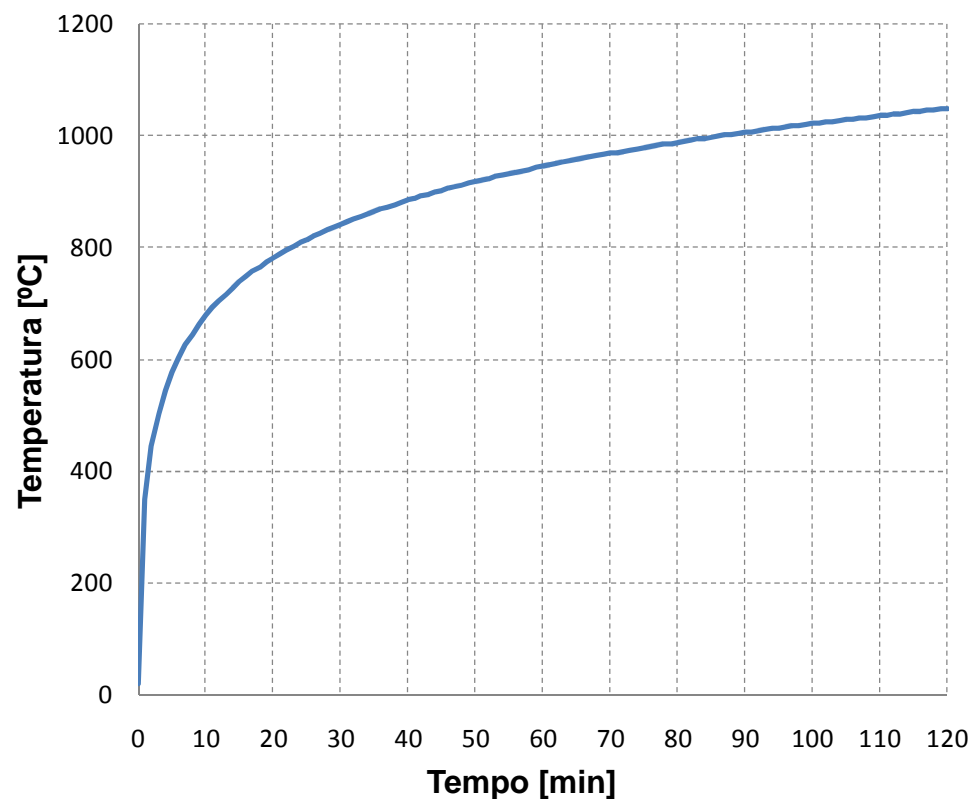
Validação do modelo
numérico

Efeito das condições
fronteira

Resultados do
estudo paramétrico

Conclusão

• Classificação ao fogo: R30, R60, R90 e R120



Aquecimento das vigas
fronteira (Max. 550 °C)



Modelo de elementos finitos

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

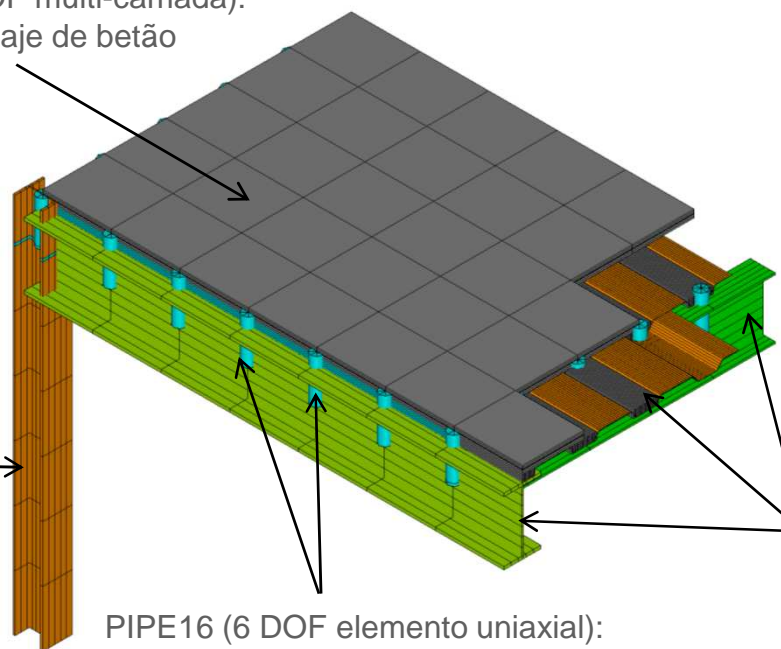
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Modelo híbrido baseado em vários tipos de Elementos Finitos com o programa ANSYS**

SHELL91 (6 DOF multi-camada):
parte sólida da laje de betão

BEAM24 :
Pilar de aço



PIPE16 (6 DOF elemento uniaxial):
Ligação entre a viga de aço e a laje de betão

BEAM24 : viga de aço,
chapa de aço e nervura de betão



Modelo de elementos finitos

Objetivos

Propriedades do
estudo paramétrico

Análises de
elementos finitos

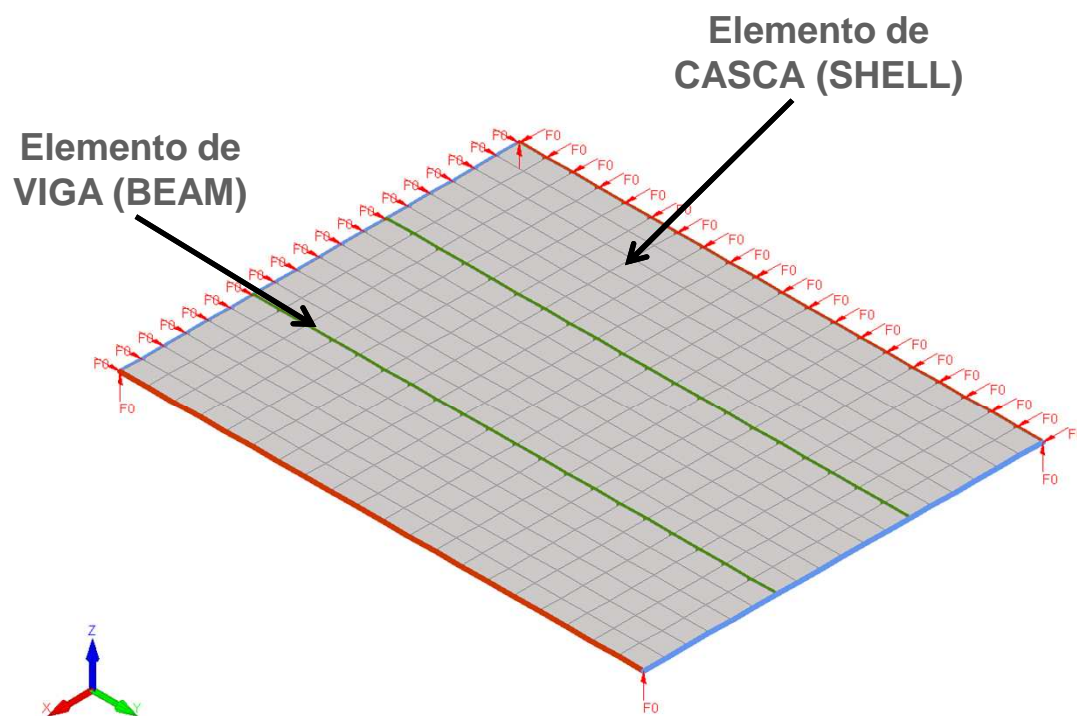
Validação do modelo
numérico

Efeito das condições
fronteira

Resultados do
estudo paramétrico

Conclusão

- **Modelo híbrido baseado em vários tipos de Elementos Finitos com o programa ANSYS**



Diamond 2011.a.2 for SAFIR

FILE: Structure6
NODES: 519
BEAMS: 116
TRUSSES: 0
SHELLS: 360
SOILS: 0

BEAMS PLOT
SHELLS PLOT
IMPOSED DOF PLOT

■ IPE300_cold.tem
■ IPE400_cold.tem
■ IPE300_hot.tem
■ IPE300_cold_conn.tem
■ IPE400_cold_conn.tem
■ IPE300_hot_conn.tem
■ Slab.tsh



Propriedades do painel da laje

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

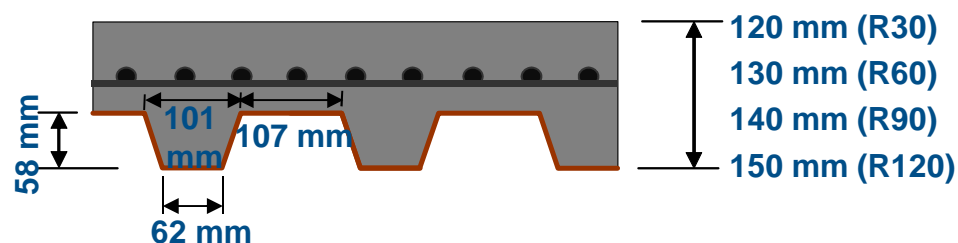
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Vigas de aço S235**
- **Chapa de aço perfilada COFRAPLUS60 (0.75 mm de espessura)**
- **Betão normal C30/37**
- **Rede de armadura S500**
- **Posição média da rede de armadura (a partir do topo da superfície) = 45 mm**





Propriedades termo-mecânicas (1/2)

Objetivos

Propriedades do
estudo paramétrico

**Análises de
elementos finitos**

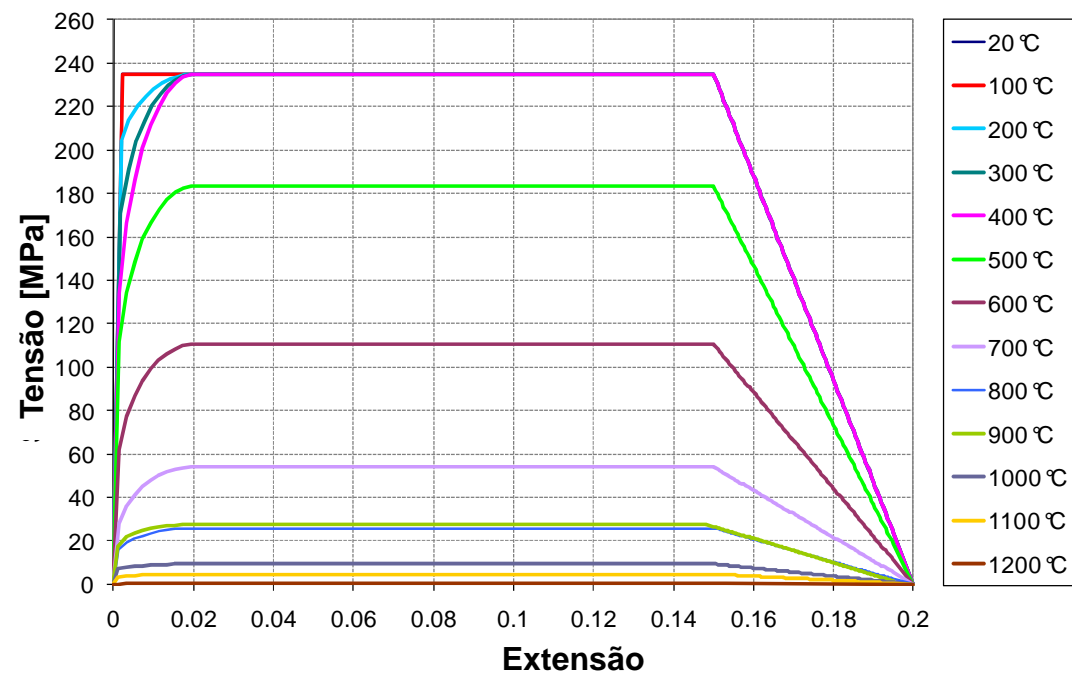
Validação do modelo
numérico

Efeito das condições
fronteira

Resultados do
estudo paramétrico

Conclusão

- **Propriedades termo-mecânicas do aço:**
 - Propriedades térmicas a partir do EC4-1-2
 - Densidade independente da temperatura ($\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$)
 - Relações Tensão-Extensão:





Objetivos

Propriedades do
estudo paramétrico

**Análises de
elementos finitos**

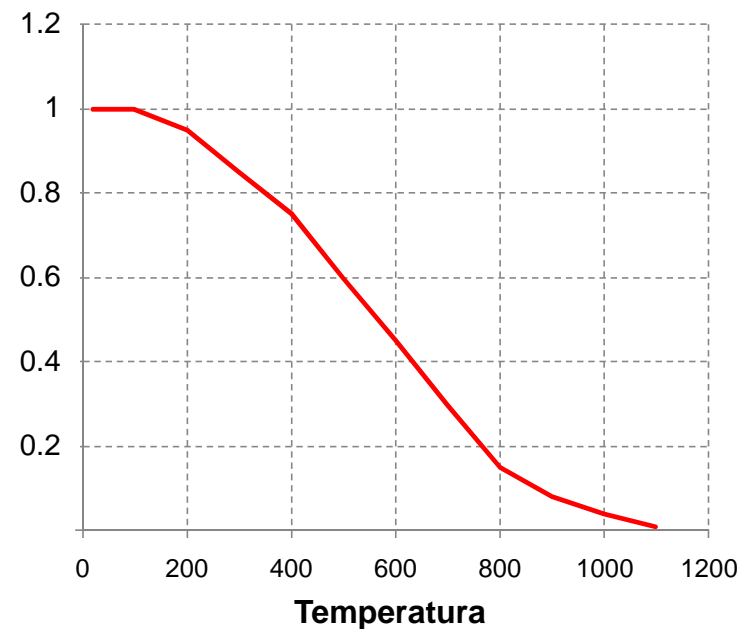
Validação do modelo
numérico

Efeito das condições
fronteira

Resultados do
estudo paramétrico

Conclusão

- **Propriedades termo-mecânicas do betão:**
 - Propriedades térmicas a partir do EC4-1-2
 - Densidade em função da temperatura de acordo com o EC4-1-2
 - Critério de rotura Drucker-Prager
 - Fatores de redução de compressão a partir do EC4-1-2:





Validação do modelo numérico ANSYS vs Ensaio 1 (1/2)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

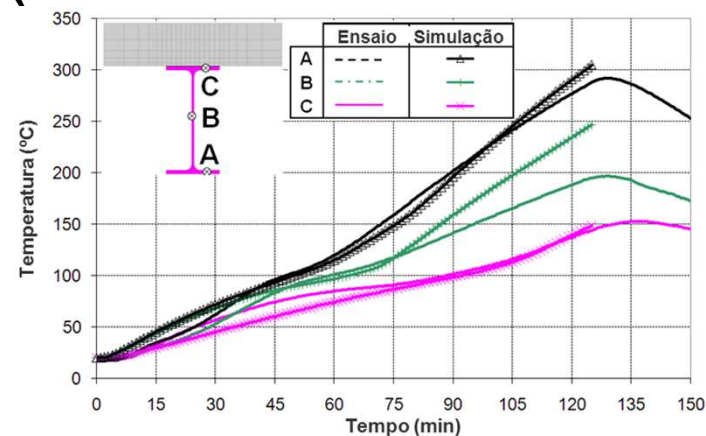
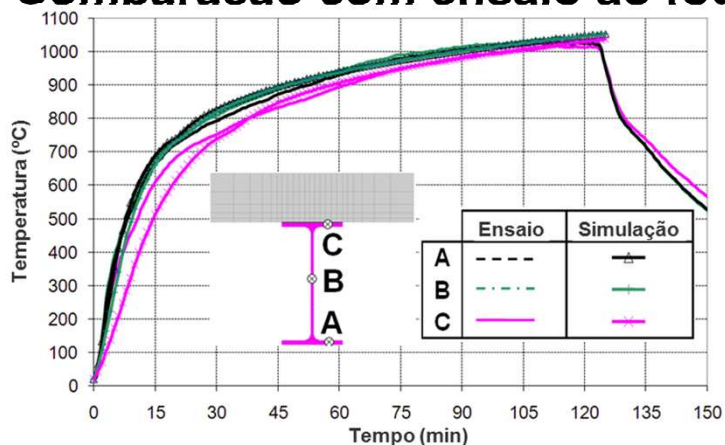
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

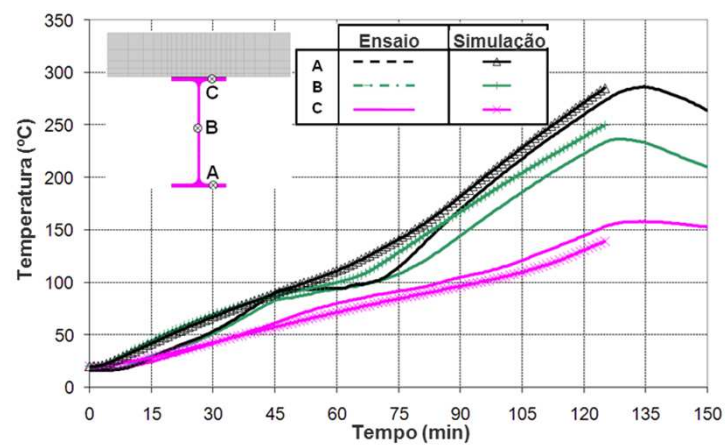
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

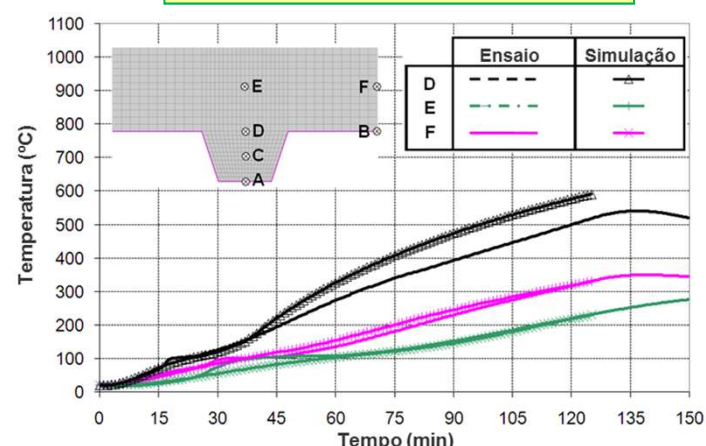
• Comparação com ensaio ao foço (análise de transferência de calor)



Vigas de aço não protegidas



Vigas secundárias protegidas



Vigas principais protegidas

Laje mista



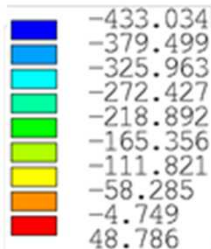
Validação do modelo numérico ANSYS vs Ensaio 1 (2/2)



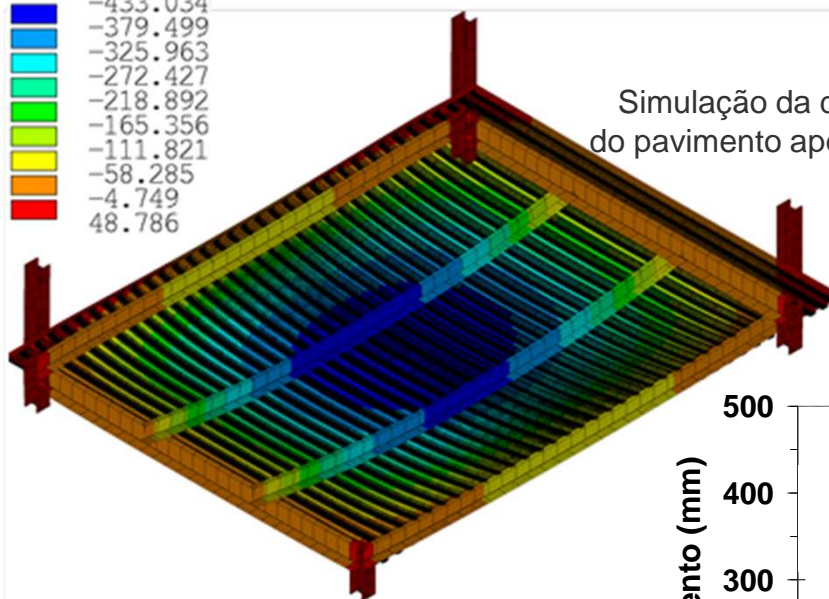
Objetivos

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**

Propriedades do estudo paramétrico



Simulação da deformação do pavimento após o ensaio



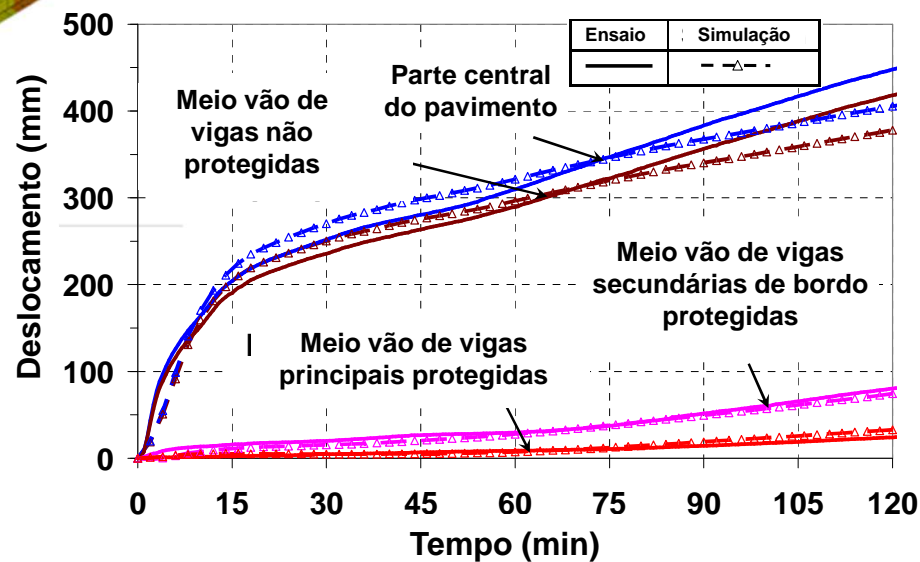
Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão



Comparação da deformação (laje e vigas)



Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 1 (1/2)



Objetivos

- Comparação com ensaio ao fogo (análise de transferência de calor)

Propriedades do estudo paramétrico

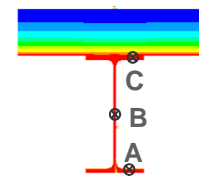
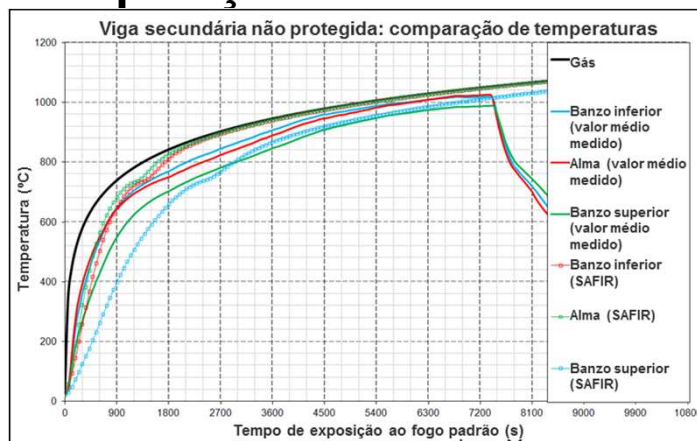
Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

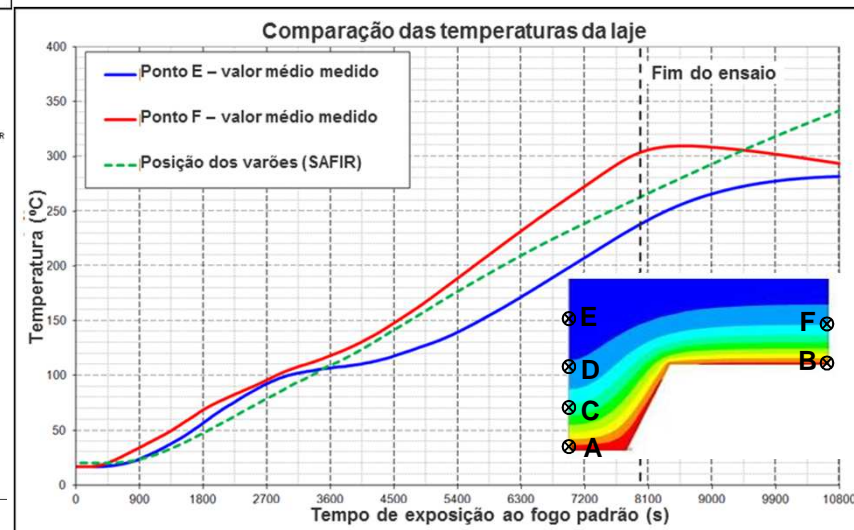
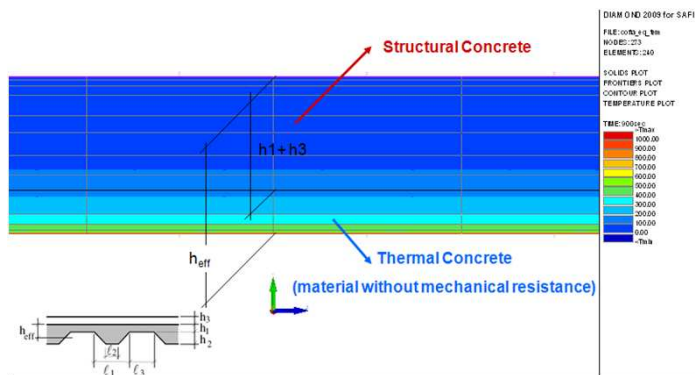
Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão



Vigas de aço não protegidas



Laje mista



Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 1 (2/2)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

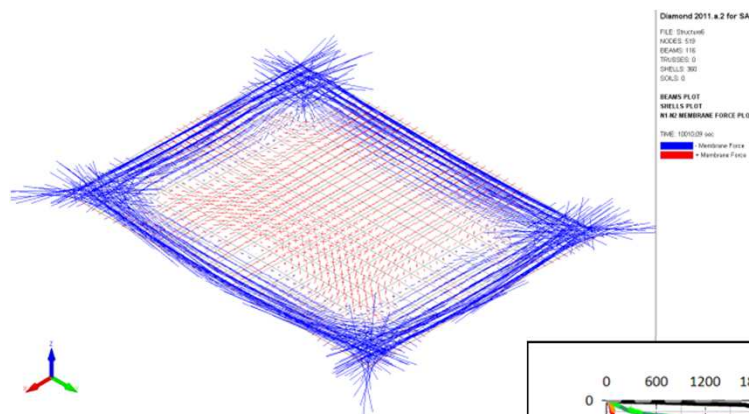
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

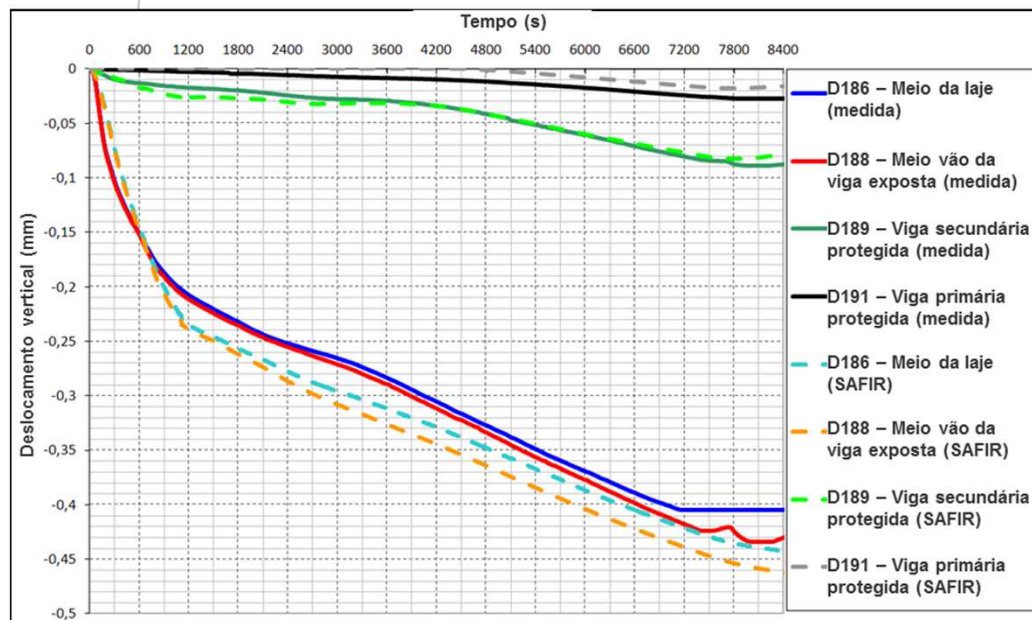
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



Simulação das tensões na extremidade da laje ensaiada



Comparação da deformação (laje e vigas)



Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 2 (1/2)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

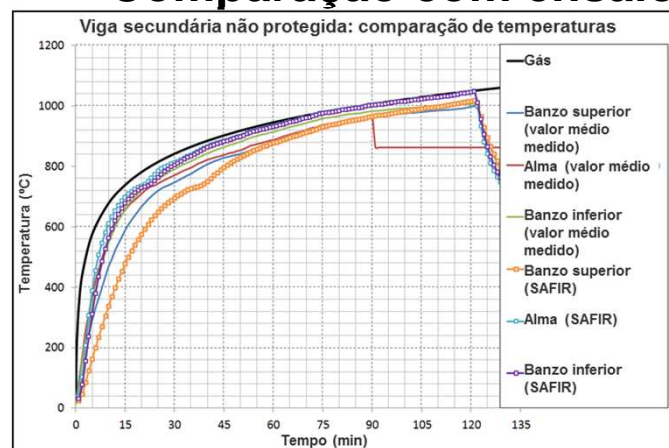
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

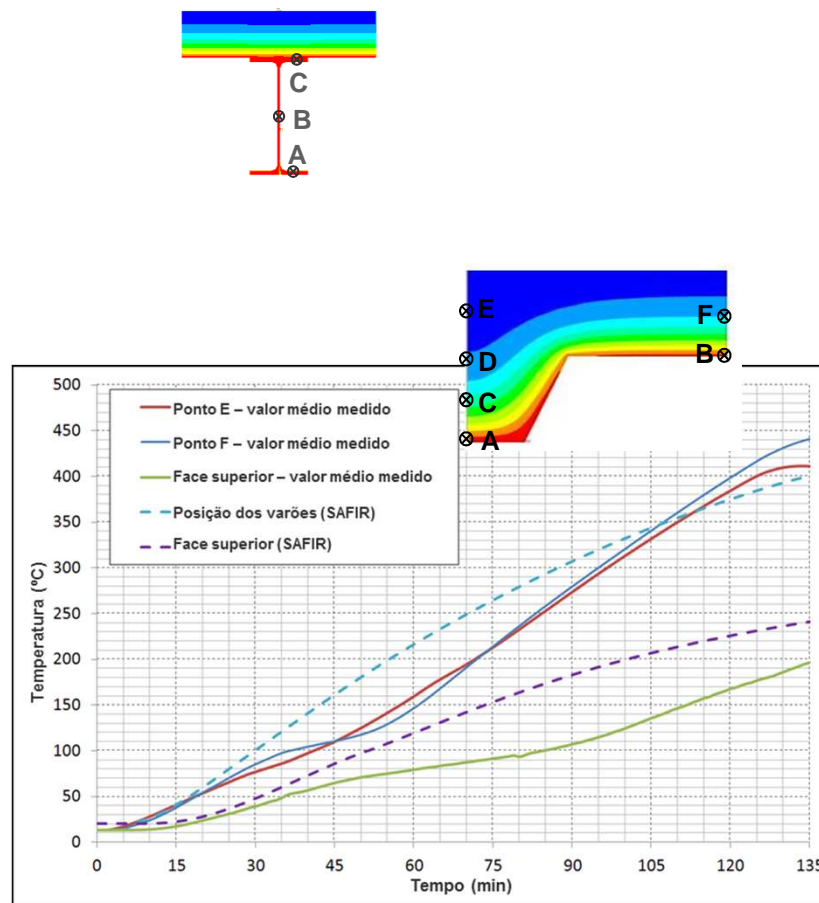
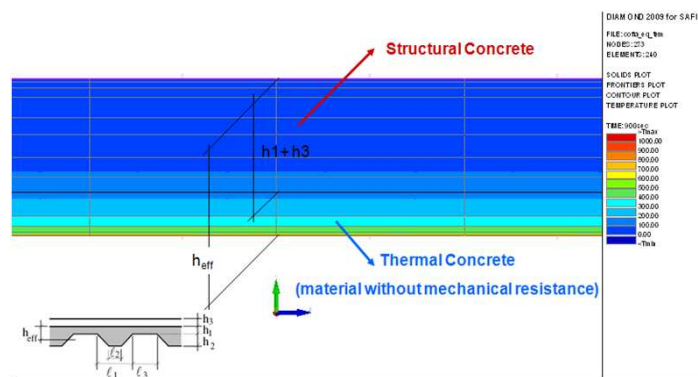
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

• Comparação com ensaio ao fogo (deformação)



Vigas de aço não protegidas



Laje mista



Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 2 (2/2)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

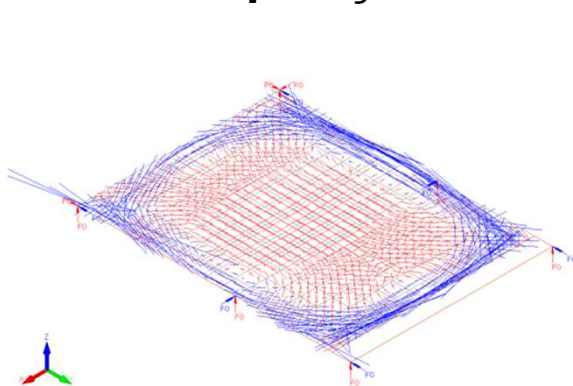
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

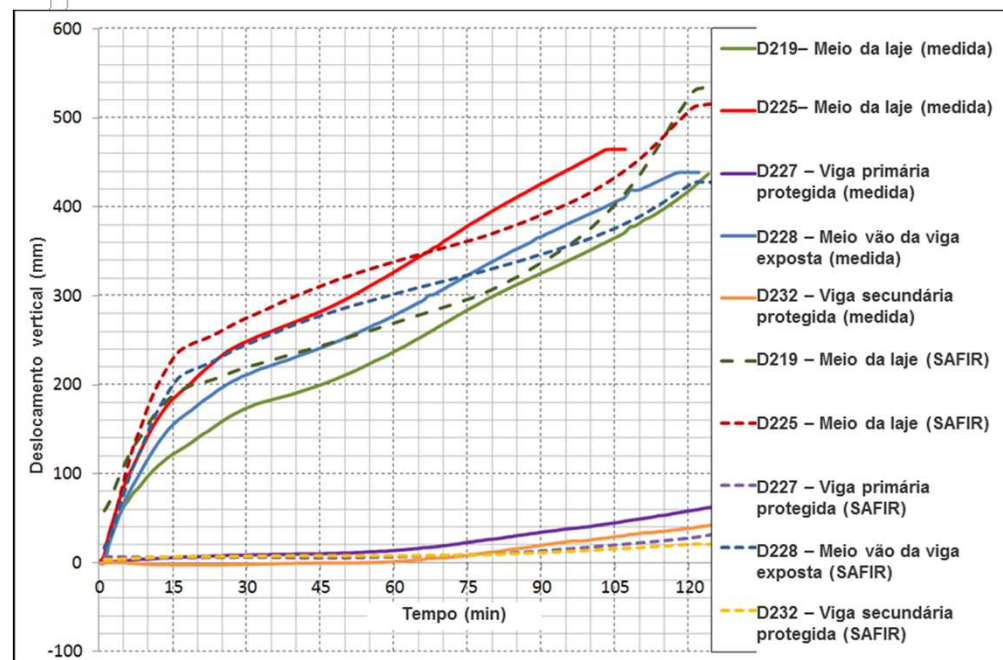
Conclusão

• Comparação com ensaio ao fogo (deformação)



Diamond 2011.a.2 for SAFIR
FILE: Coofire2
NOES: 357
BEAMS: 69
TRUSSES: 0
SHELLS: 208
SOLLS: 0
BEAMS PLOT
SHELLS PLOT
IMPOSED DOF PLOT
N142 MEMBRANE FORCE PLOT
TIME: 2627.5 sec
■ Membrane Force
■ Membrane Force

Simulação das tensões na extremidade da laje ensaiada



Comparação da deformação (laje e vigas)



Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 3 (1/3)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

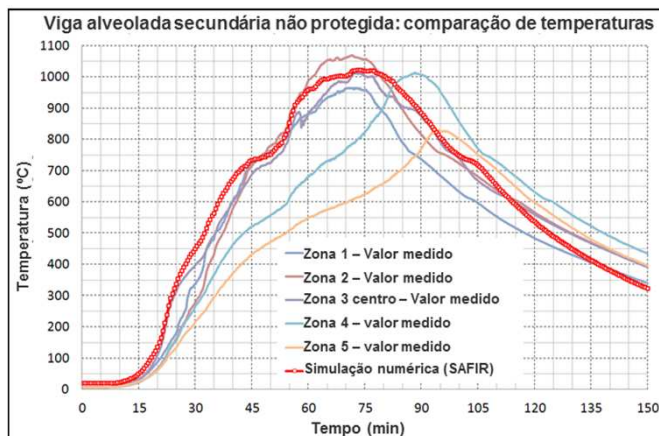
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

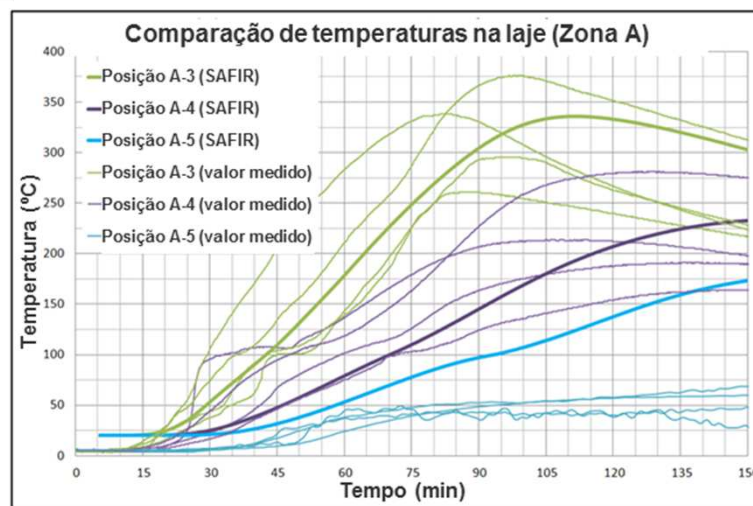
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- Comparação com ensaio ao fogo (análise de transferência de calor)



Vigas de aço não protegidas



Laje mista



Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 3 (2/3)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

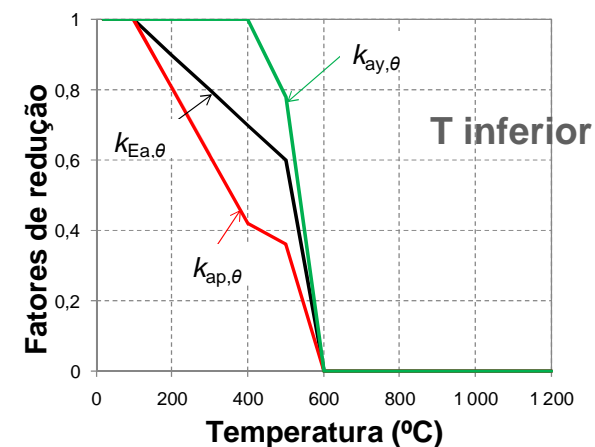
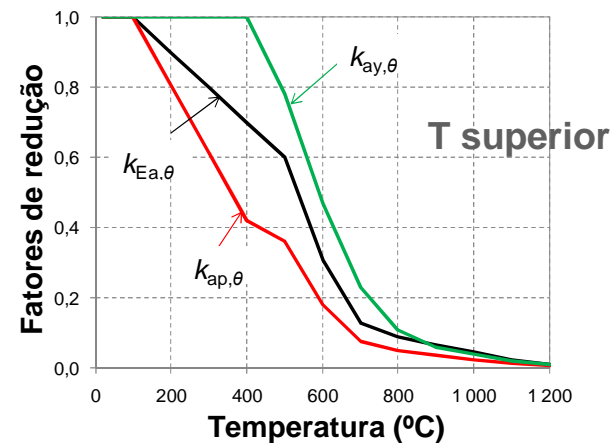
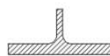
- **Modelo híbrido para ter em consideração a WPB (pós encurvadura da alma) com o elemento de VIGA**



Antes da pós-encurvadura da alma



Depois da pós-encurvadura da alma





Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 3 (3/3)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

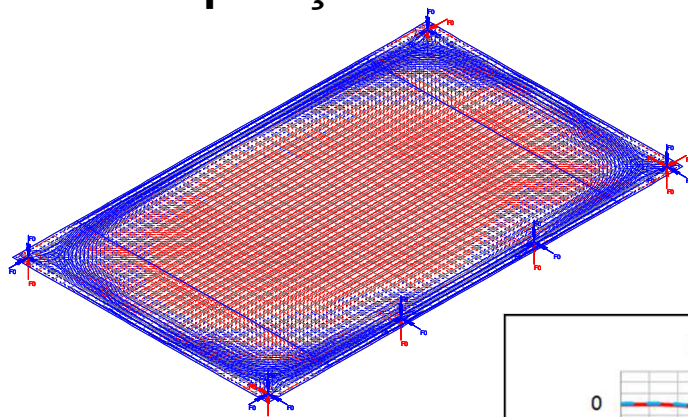
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

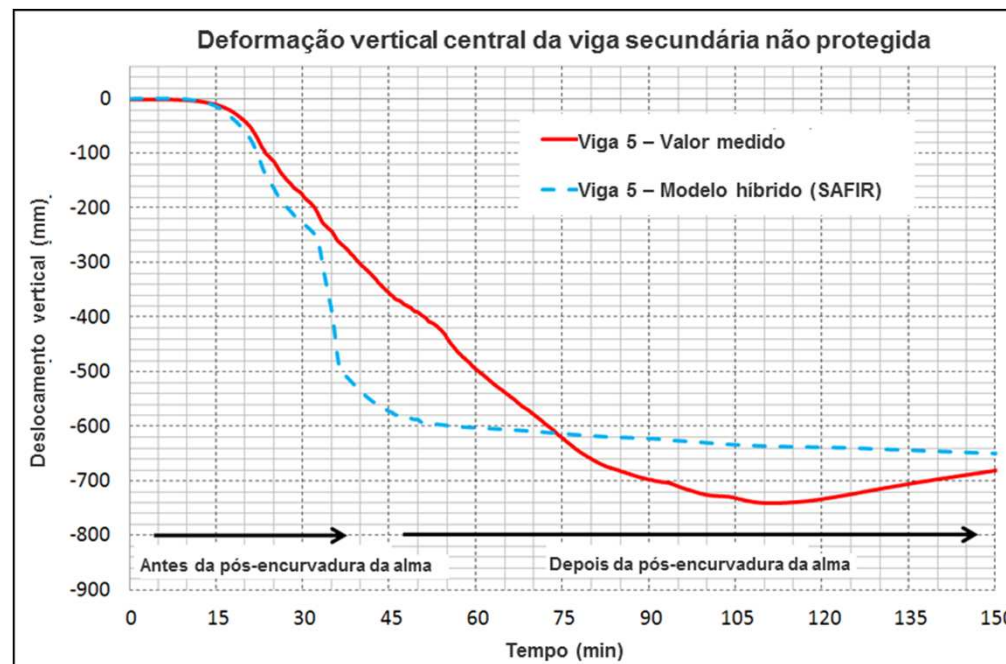
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



Simulação das tensões na extremidade da laje ensaiada



Comparação da deformação



Efeito das condições fronteira



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

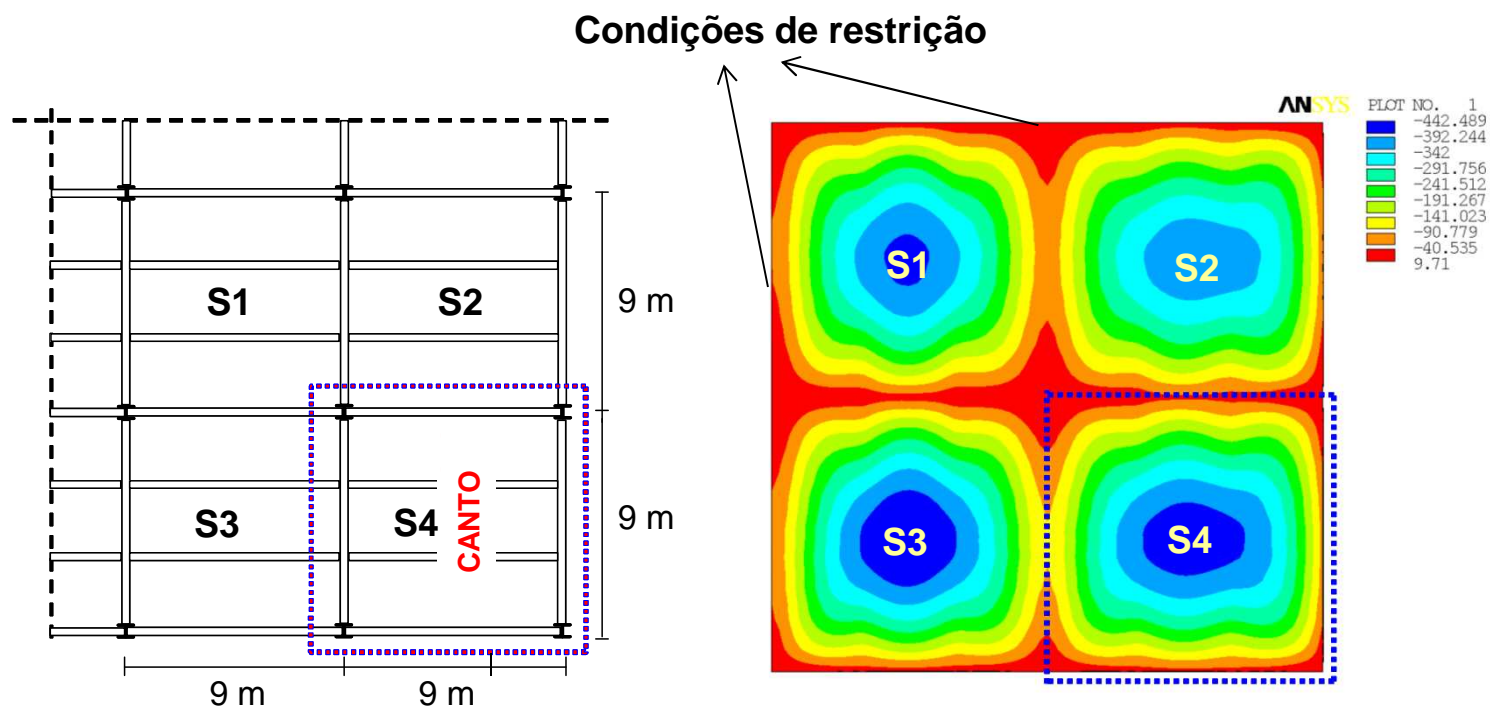
Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão



Grelha da estrutura de um edifício real

Modelo ANSYS

- **Conclusão**

- É mais importante prever a deformação no canto da grelha com 2 bordos contínuos no que nas outras 3 grelhas com 3 ou 4 bordos contínuos.



Resultados do estudo paramétrico (1/4)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

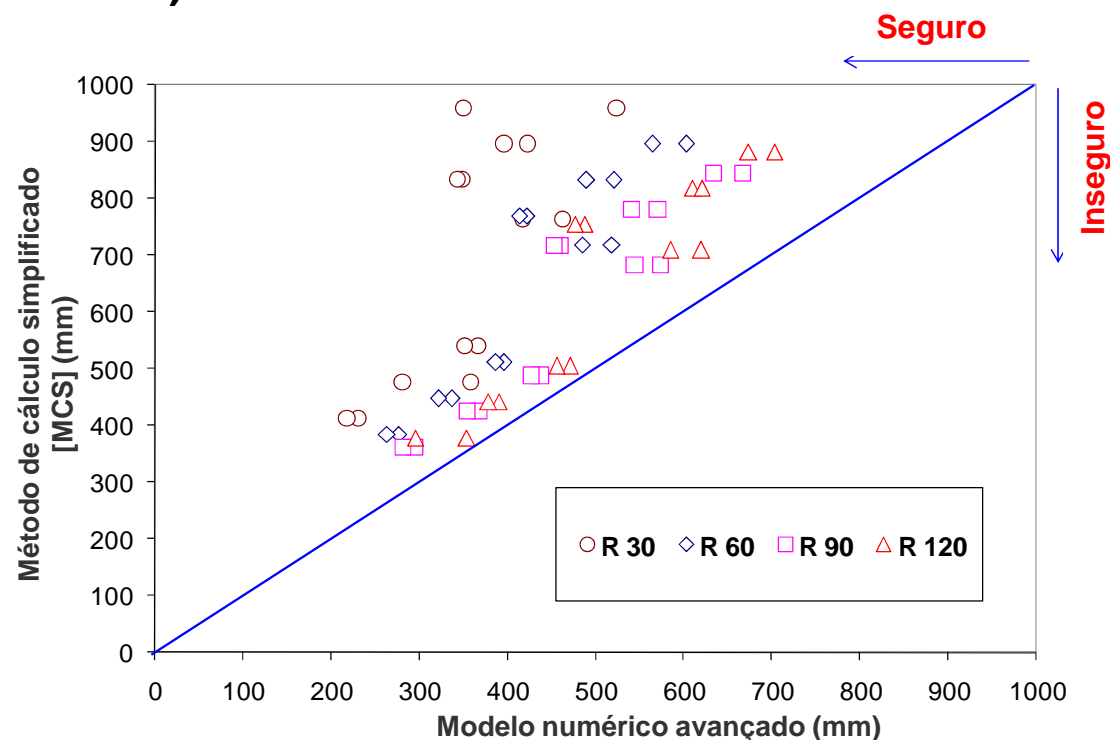
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Comparação da deformação FEA com a deformação máxima permitida de acordo com o MCS (Método de Cálculo Simplificado)**





Resultados do estudo paramétrico (2/4)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

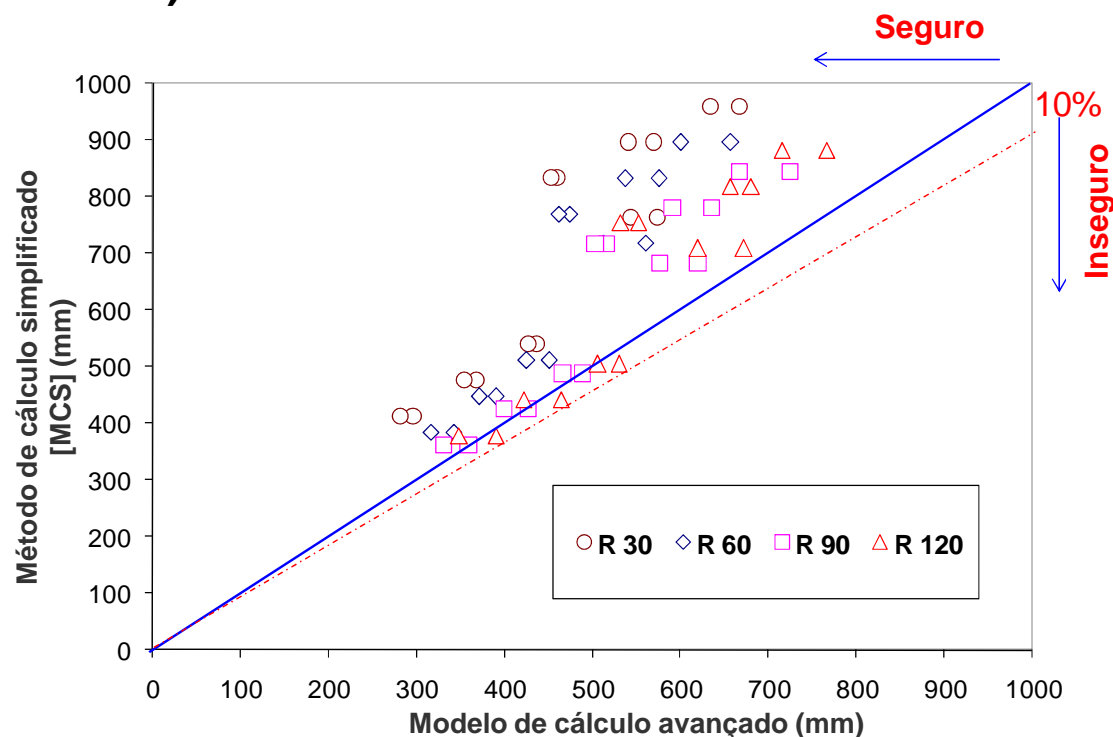
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Comparação da deformação FEA com a deformação máxima permitida de acordo com o MCS (Método de Cálculo Simplificado)**



Sem ligação mecânica entre a laje e os pilares em cálculos avançados



Resultados do estudo paramétrico (3/4)



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

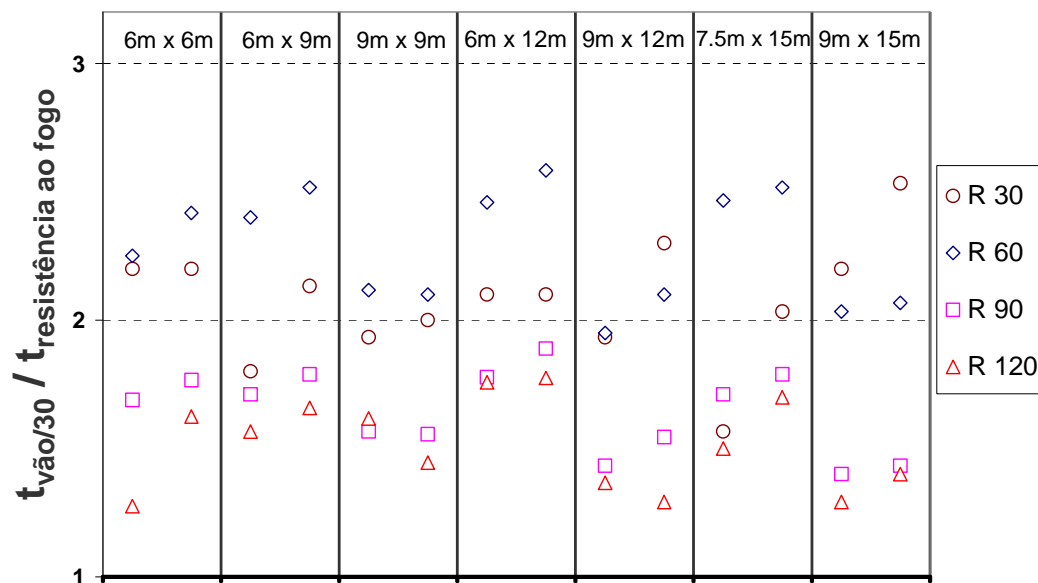
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Comparação do tempo a que a deformação da FEA (análise de elementos finitos) atinge vão/30 com a resistência ao fogo de acordo com o MCS (Método de Cálculo Simplificado)**



- **Conclusão**
 - O critério vão/30 não é atingido na FEA durante toda a duração da resistência ao fogo prevista pelo MCS



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

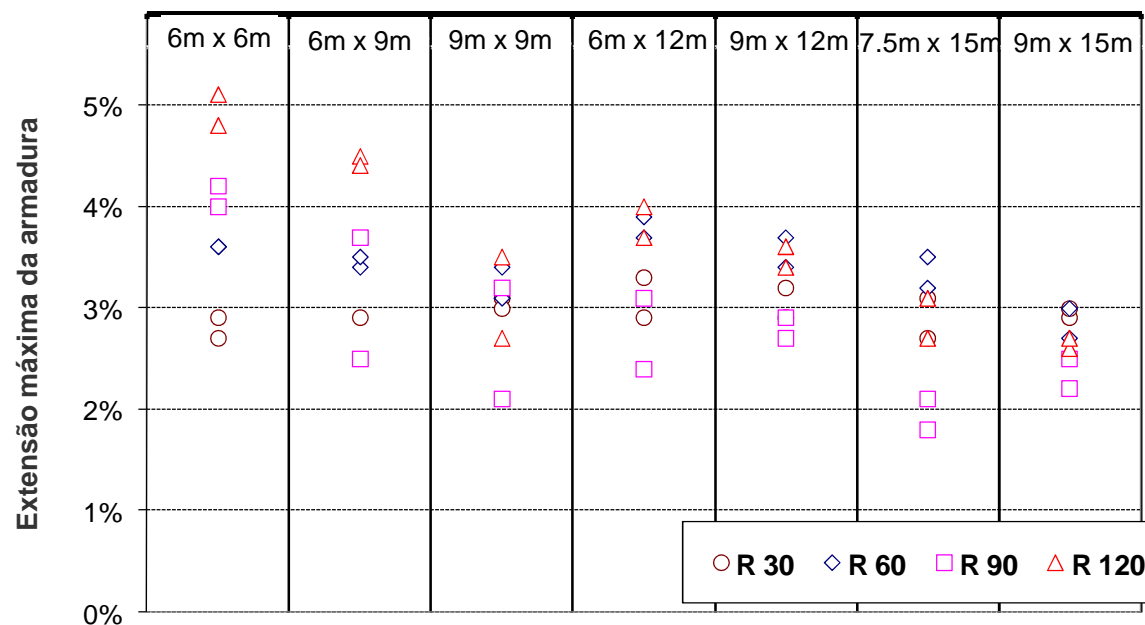
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

• Capacidade de extensão da armadura



• Conclusão

- Extensão da armadura $< 5\%$ = Min. capacidade de extensão permitida de acordo com o EC4-1-2.



Conclusão



Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **O MCS (Método de Cálculo Simplificado) está do lado da segurança em comparação com os resultados de cálculos avançados;**
- **No que diz respeito à extensão da rede da armadura, esta permanece geralmente abaixo de 5 %;**
- **As ligações mecânicas entre a laje e os pilares podem reduzir a deformação de um sistema de pavimento misto em situação de incêndio, mas não são necessárias como um detalhe construtivo;**
- **O MCS é capaz de prever de forma segura o comportamento estrutural de um pavimento misto de aço e betão sujeito ao fogo padrão.**



Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Caso de estudo e apresentação do Software MACS+



- **Âmbito e objetivos**
- **Nova metodologia MACS+**
- **Software MACS+**
- **Caso de Estudo**
 - Breve descrição da obra
 - Projeto base
 - Solução Blocotelha - Metodologia tradicional
 - Solução Alternativa - Nova metodologia
 - Comparação de resultados
 - Validação dos resultados obtidos pelo MACS+
- **Conclusões**



Âmbito e Objetivos



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Orientadora: Prof. Dra. Elsa de Sá Caetano
Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Vila Real

Âmbito e objetivos

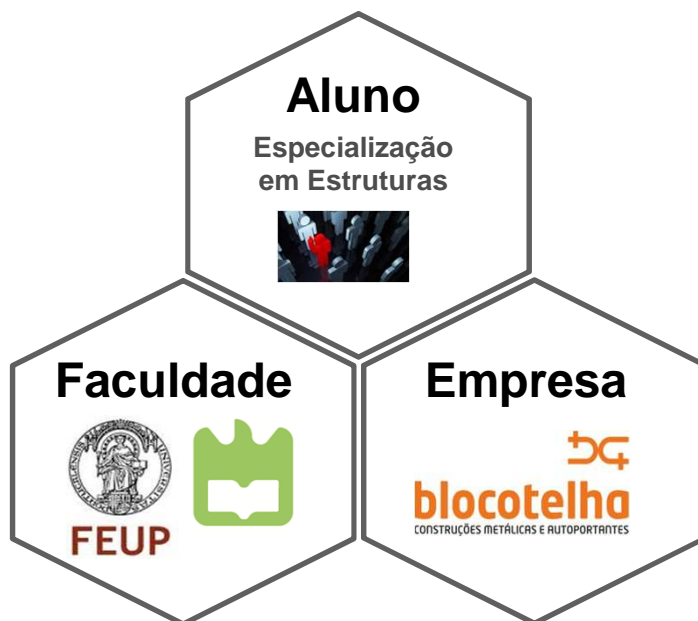
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões



Estudo comparativo

Metodologia
Convencional

Nova Metodologia
(efeito de membrana)
MACS+

Aplicação num caso real
(edifício em construção pela empresa)

Avaliar o interesse da
aplicação da nova
metodologia em projetos
futuros!



Nova Metodologia MACS+



Âmbito e objetivos



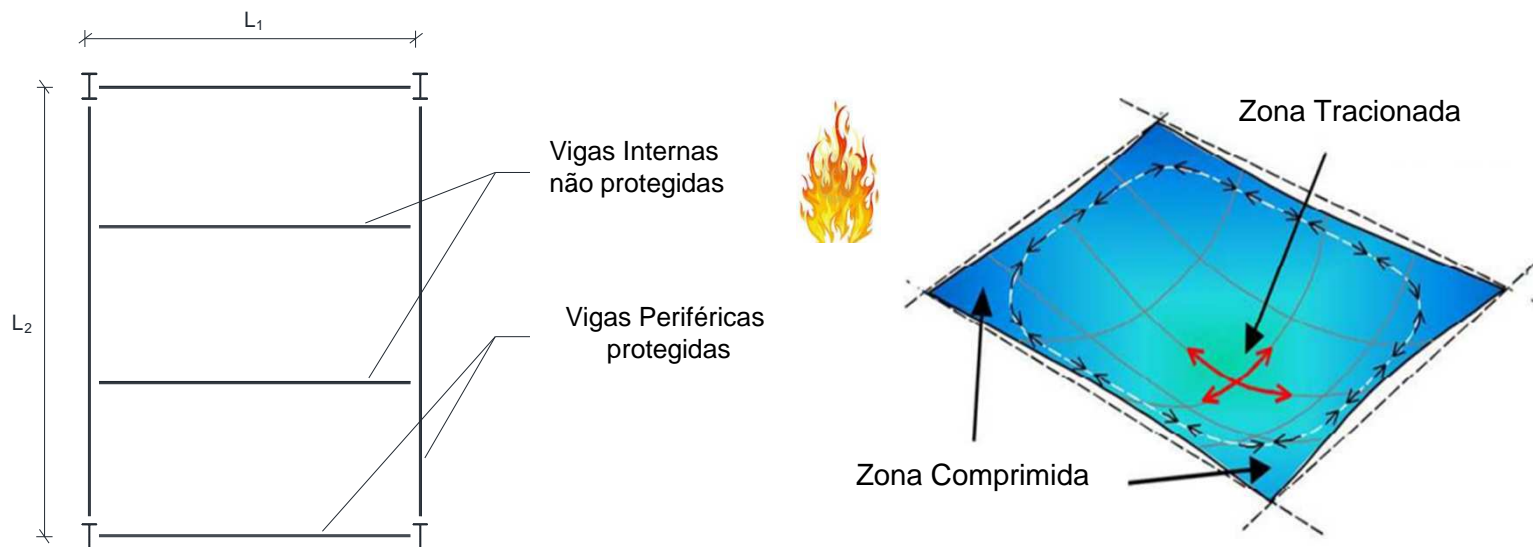
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões



Metodologia comprovada através de ensaios à escala real e observação de incêndios reais.



- **Programa de cálculo automático**

- Desenvolvido para a aplicação da nova metodologia de cálculo que contabiliza o efeito de membrana nas lajes.
- Principais etapas de cálculo com recurso ao MACS+:
 - Geometria da zona a calcular;
 - Definição da chapa perfilada;
 - Definição da laje mista;
 - Informação sobre as vigas;
 - Condições de carregamento;
 - Exposição ao fogo;
 - Análise de resultados.

Âmbito e objetivos

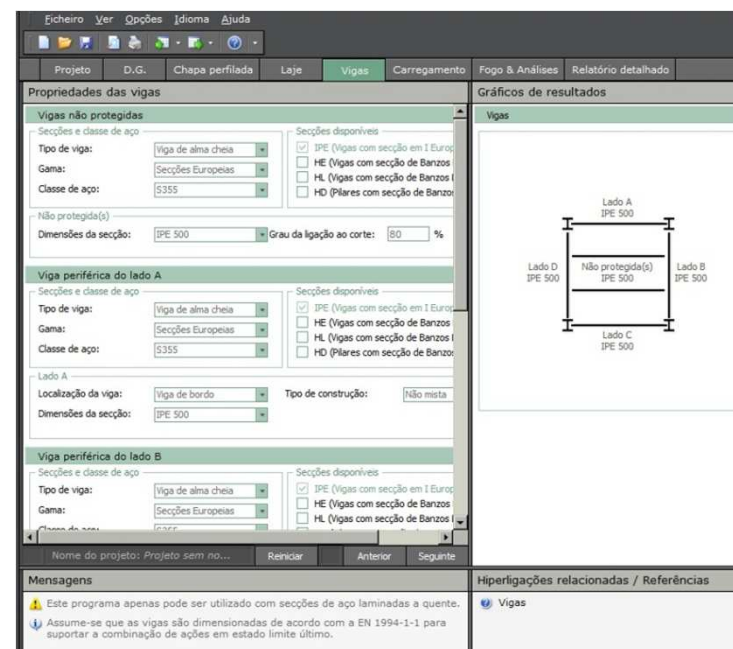
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Breve descrição da obra**

Âmbito e objetivos

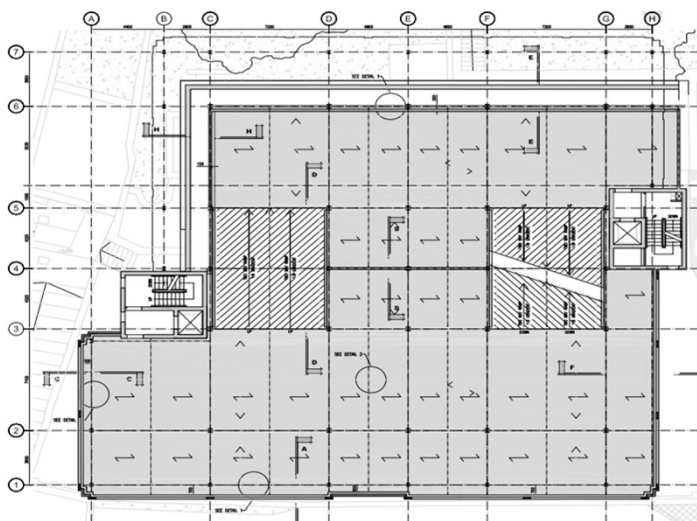
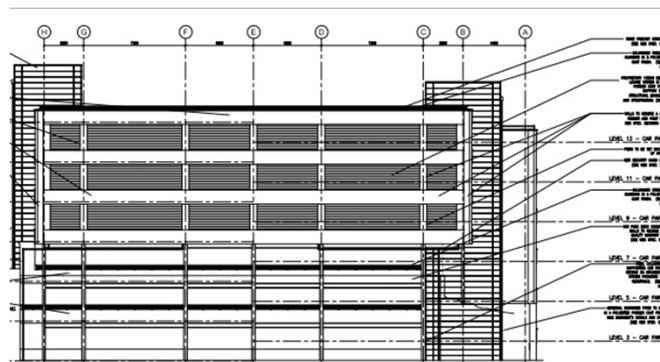
Nova Metodologia

Software

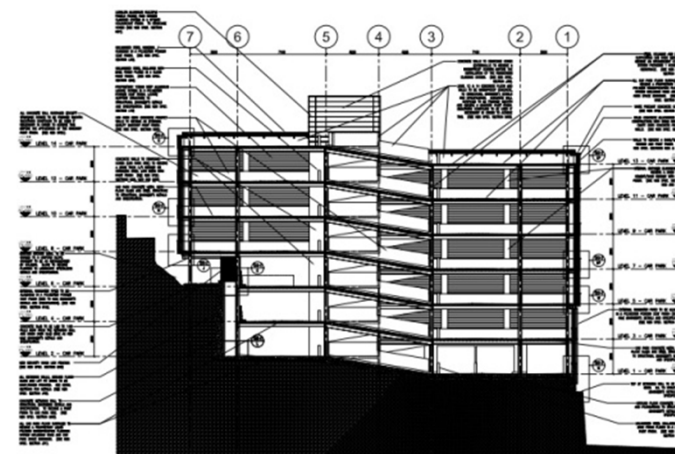
Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões



- Parque de estacionamento localizado em Gibraltar;
- Área em planta: 38x32 (m²);
- Altura total: 18 m (6 Pisos);
- Resistência ao fogo requerida: 60 minutos;
- Construção metálica e mista porticada.





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Projeto base**

- Perfis de aço britânicos;
- Vigas secundárias com afastamentos de cerca de 3,6 m;
- Malha eletrosoldada A393;
- Espessura total da laje colaborante: 130 mm;
- Contraventamento pelas caixas de escadas em B.A.

Âmbito e objetivos

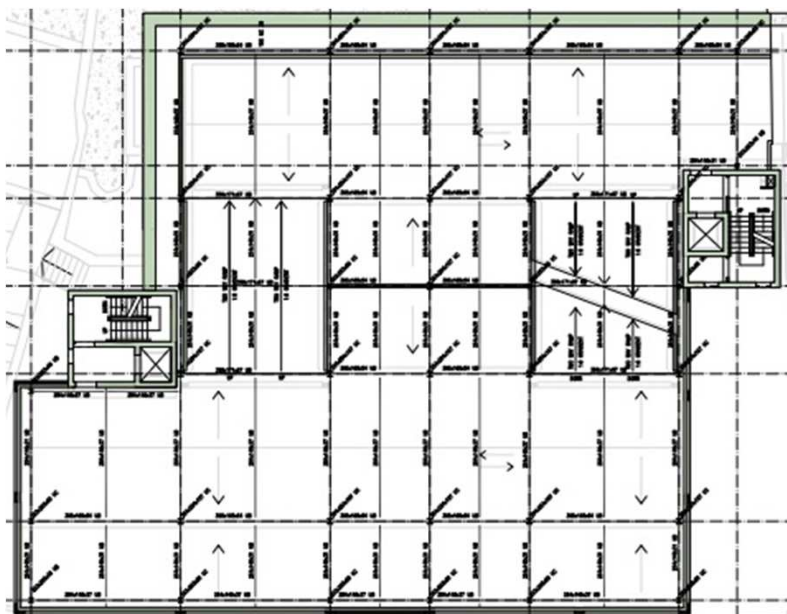
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- **Projeto base**
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- **Solução Blocotelha**
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões

- **Solução Blocotelha - Metodologia convencional**

- Pilares metálicos HEA/HEB;
 - Vigas mistas principais e secundárias com perfis IPE;
 - Afastamento entre vigas secundárias: cerca de 2,4 m
 - Chapa colaborante *Haircol 59s* (0,75mm);
 - Malha eletrosoldada A393 (B500);
 - Conectores tipo *Nelson* (19 mm);
 - Espessura total da laje: 120 mm;
 - Contraventamento garantido pelas caixas de escadas.
- 20 °C**
- Proteção passiva contra incêndio: aplicação de pintura intumescente em todos os elementos estruturais;
 - Colocação de varão de reforço adicional em cada nervura da laje.
- Incêndio**



Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



• Solução Blocotelha - Metodologia convencional

Âmbito e objetivos

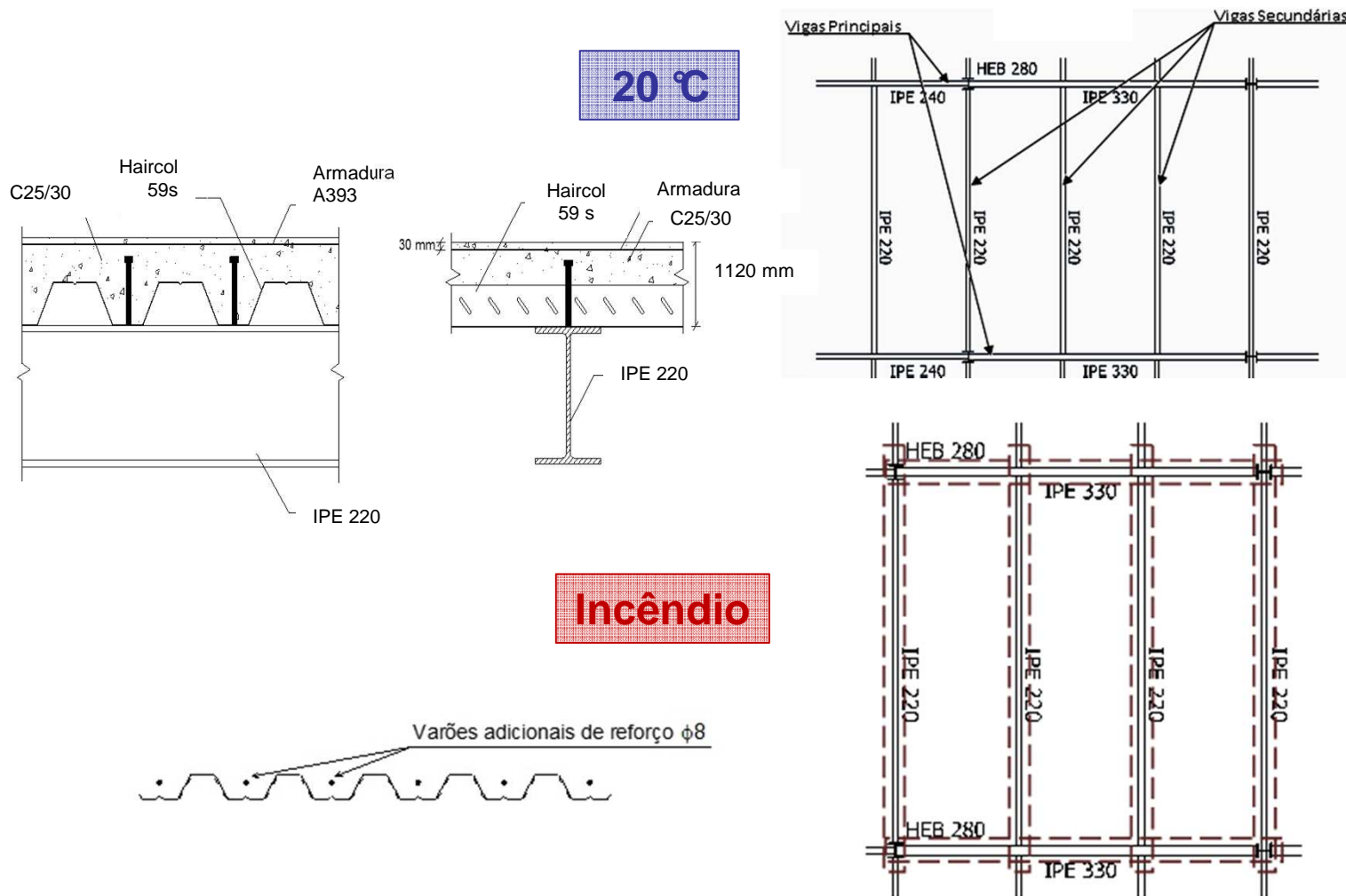
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- **Solução Blocotelha**
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- Solução Blocotelha - Metodologia convencional**



Âmbito e objetivos

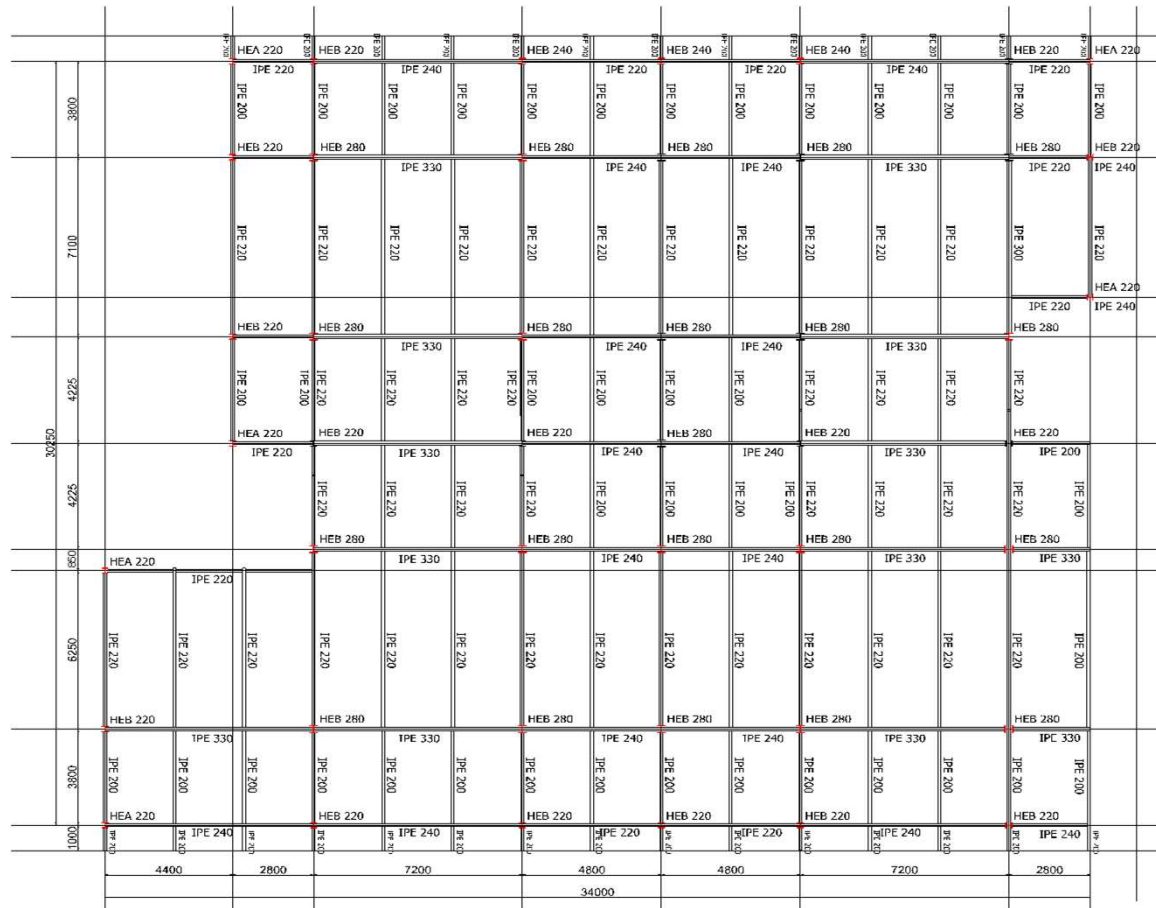
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- **Solução Blocotelha**
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Blocotelha - Metodologia convencional**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- **Solução Blocotelha**
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Blocotelha - Metodologia convencional**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- **Solução Blocotelha**
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Alternativa - Nova metodologia**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- **Solução Alternativa**
- Comparação
- Validação

Conclusões

1) Aplicabilidade da metodologia MACS+:

- Estrutura porticada com lajes e vigas mistas;
- Estrutura contraventada;
- Laje mista dimensionada de acordo com a EN1994-1-1;
- Chapa colaborante de altura inferior a 80 mm;
- Uma única camada de malha eletrosoldada (dúctil);
- Camada de betão normal com altura inferior a 90 mm;
- Ligações sem transmissão de momentos fletores;

2) Exposição e Resistência ao fogo exigida:

- Curva padrão ISO834; Curva paramétrica; etc.;
- Resistência mecânica; Estanquidade; Isolamento.



Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Alternativa - Nova metodologia**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

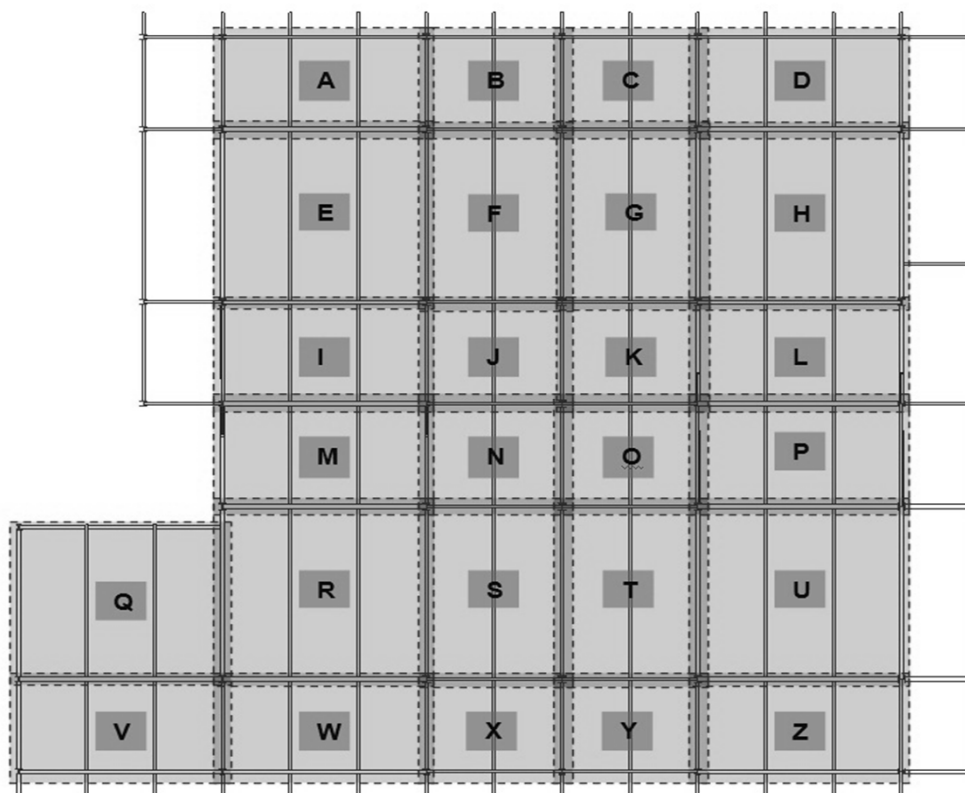
Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- **Solução Alternativa**
- Comparação
- Validação

Conclusões

3) Divisão das zonas de dimensionamento:





Caso de Estudo ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Alternativa - Nova metodologia**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

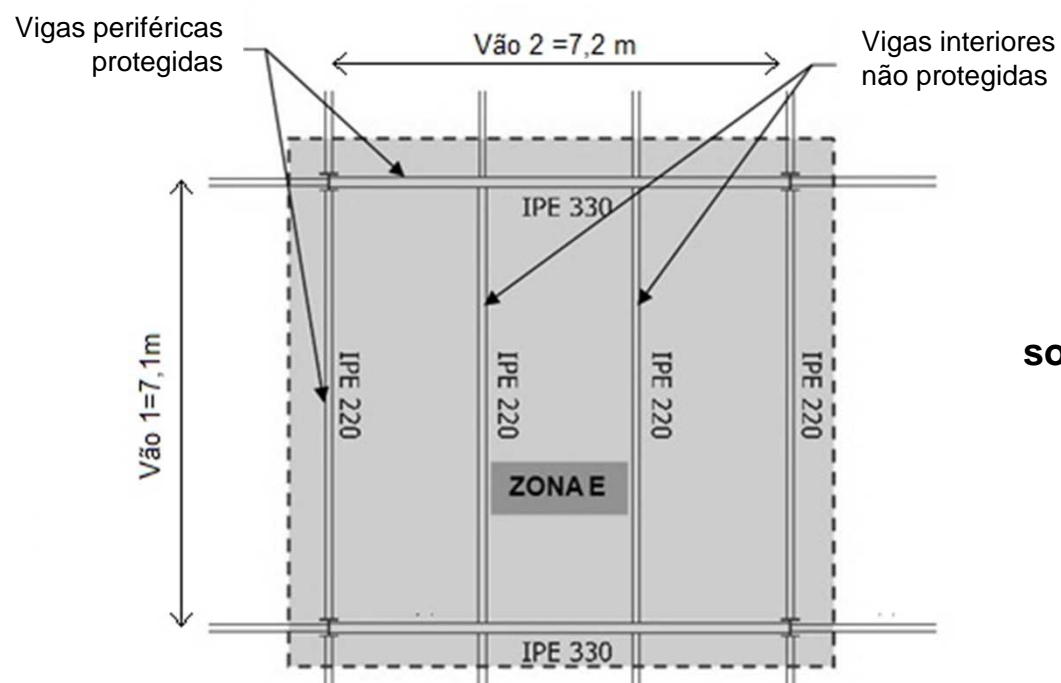
Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- **Solução Alternativa**
- Comparação
- Validação

Conclusões

4) Cálculo de cada zona separadamente.

➔ Exemplificação para a Zona E:



Recurso ao
software MACS+



Nota: Cálculo baseado no dimensionamento previamente efetuado a 20°C!



Caso de Estudo ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Alternativa - Nova metodologia**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

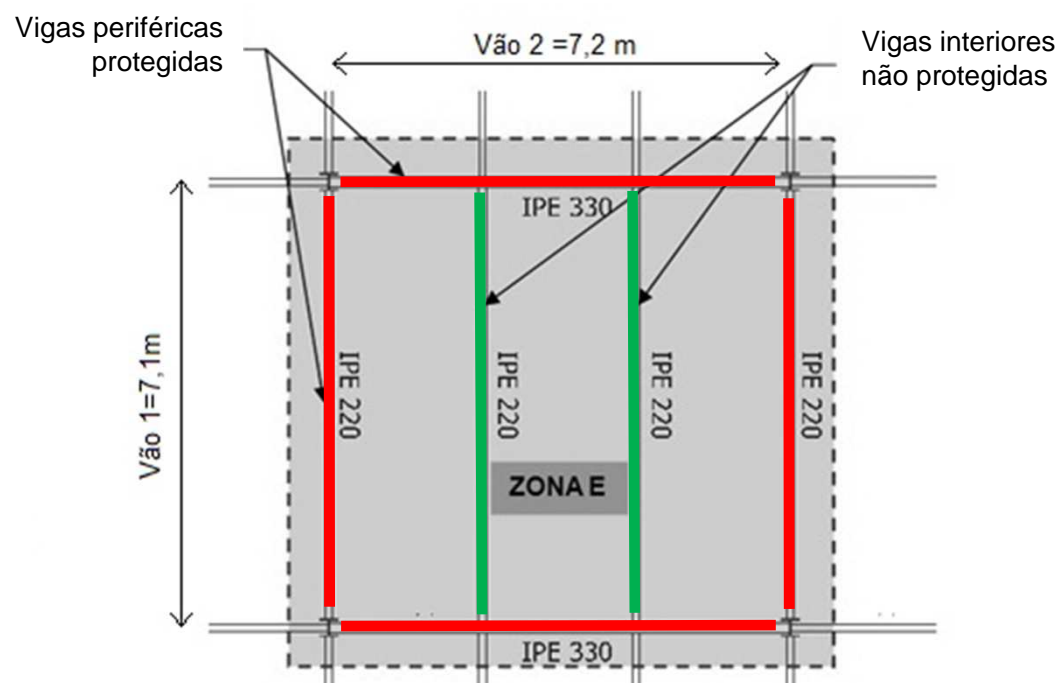
Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- **Solução Alternativa**
- Comparação
- Validação

Conclusões

4) Cálculo de cada zona separadamente.

➔ Resultados obtidos para a Zona E:





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Alternativa - Nova metodologia**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

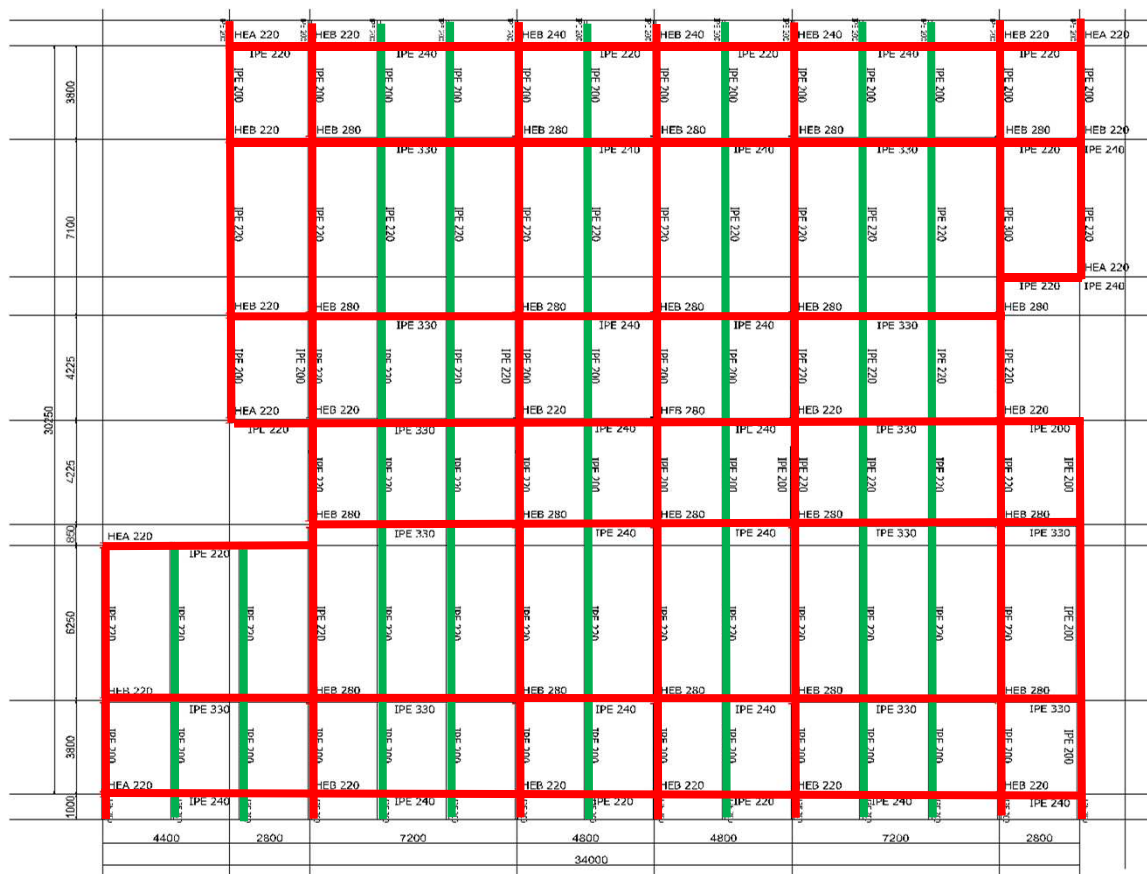
Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- **Solução Alternativa**
- Comparação
- Validação

Conclusões

5) Resultados obtidos para a globalidade da laje.





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Solução Alternativa - Nova metodologia**

Âmbito e objetivos

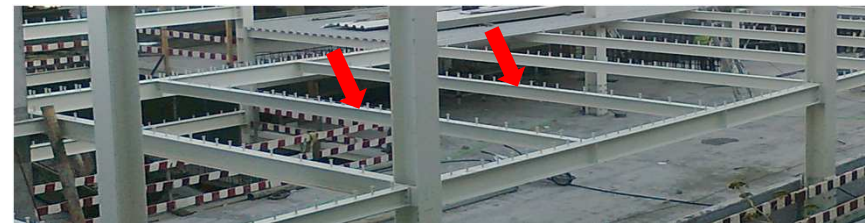
Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- **Solução Alternativa**
- Comparação
- Validação

Conclusões





Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Comparação de resultados**

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

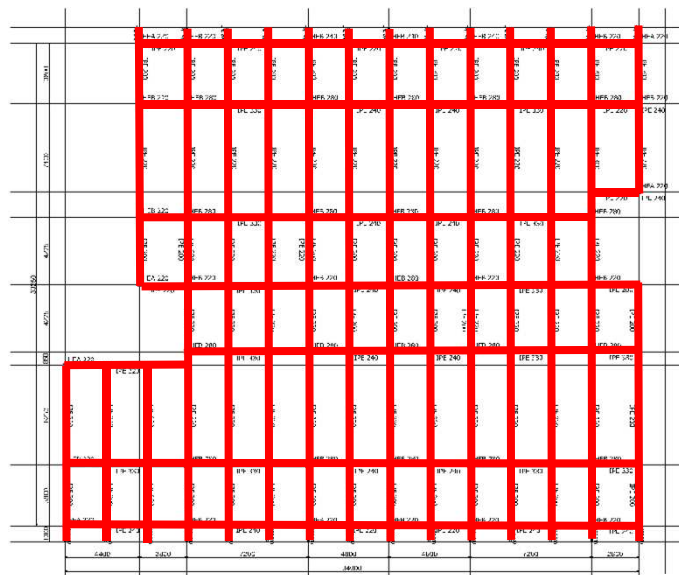
Software

Caso de Estudo

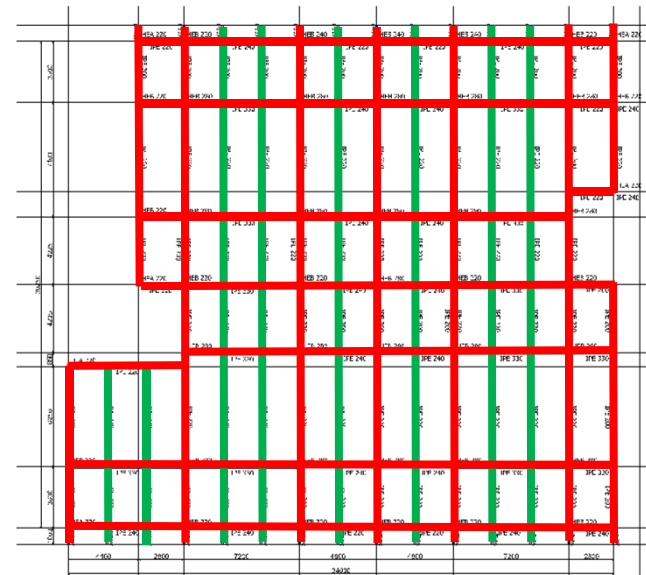
- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- **Comparação**
- Validação

Conclusões

Metodologia Convencional



Nova Metodologia - MACS+



A nova metodologia conduz a uma redução das necessidades de proteção passiva contra incêndio.

Diminuição de 37% das áreas a proteger com pintura intumescente



Caso de Estudo

ARENGO'S PALACE CAR PARK



- **Validação dos resultados obtidos pelo MACS+**

Etapas do cálculo manual:

- A) Carga aplicada em situação de incêndio;
- B) Isolamento térmico e evolução das temperaturas;
- C) Momento resistente e capacidade de carga da laje;
- D) Determinação das flechas;
- E) Resistência da laje devida ao efeito de membrana;
- F) Capacidade de carga da laje em situação de incêndio;
- G) Contribuição das vigas mistas não protegidas;
- H) Totalidade da capacidade de carga da laje;
- I) Verificação da resistência da estrutura Vigas+Laje em situação de incêndio;
- J) Esforço atuante nas vigas periféricas.

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- **Validação**

Conclusões



Nova metodologia conduz a uma redução de cerca de 40% das áreas de pintura com intumescente

Âmbito e objetivos

Nova Metodologia

Software

Caso de Estudo

- Descrição da obra
- Projeto base
- Solução Blocotelha
- Solução Alternativa
- Comparação
- Validação

Conclusões

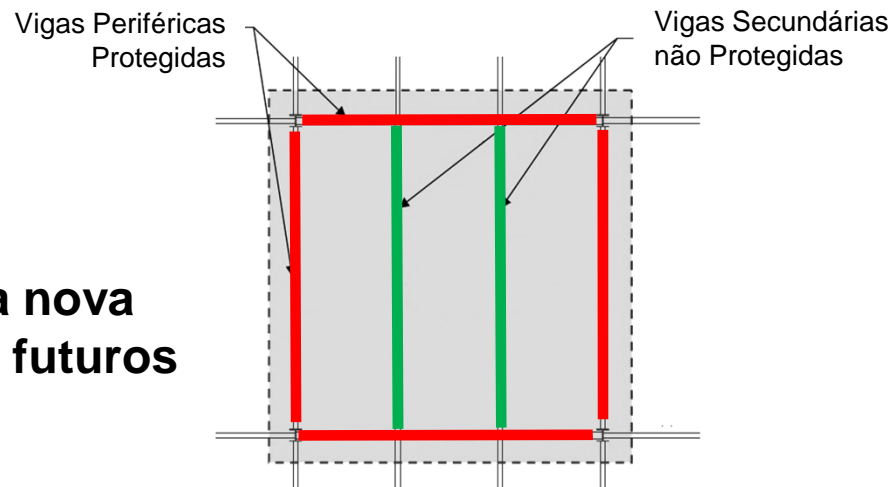
MAIOR ECONOMIA!

Interesse na aplicação da nova metodologia em projetos futuros

Disponibilidade de um programa de cálculo automático de fácil utilização e que proporciona uma rápida obtenção de resultados

Cálculo manual que valida os resultados obtidos programa

Implementar e divulgar a metodologia e software





OBRIGADO!