

4^{as}

JORNADAS de
Segurança
aos Incêndios Urbanos



6 e 7 Novembro 2014

Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos

4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos

Atas dos Artigos

ENTIDADES LOCAIS



APOIOS



PATROCÍNIOS



ISBN 978-989-97210-2-9



4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos



Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos



TÍTULO:

Atas dos Artigos das 4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

EDIÇÃO:

ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio)

EDITORES:

Débora Ferreira (IPB), Elza Fonseca (IPB), João Carlos Viegas (LNEC), João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI), José Pedro Lopes (ANPC), Luís Mesquita (IPB), Nuno Lopes (UA), Paulo Piloto (IPB)

DESIGN GRÁFICO:

Soraia Maduro – CIPweb IPB

EDIÇÃO:

1^a, Novembro de 2014

ISBN:

978-989-97210-2-9

DEPÓSITO LEGAL:

382800/14

IMPRESSÃO:

Bringráfica – Indústrias Gráficas, Lda

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos autores e da editora

PREFÁCIO

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) atingiu a sua maturidade em Portugal fruto do desenvolvimento sustentado que tem tido na última década não só ao nível da investigação com a realização de vários projetos nacionais e europeus em várias instituições Portuguesas, como com o aparecimento de formação avançada (mestrado e doutoramento) e formação profissional em várias áreas da SCIE e da criação duma regulamentação uniforme para a área, suportada por uma normalização também ela completa e abrangente de toda a área da SCIE. Este desenvolvimento trará enormes retornos não só ao nível da segurança das edificações, bens e pessoas, como económicos, com um reflexo positivo para a sociedade. Portugal está hoje na primeira linha do desenvolvimento na área da SCIE. Poderemos dizer que projetar e construir hoje é mais seguro em termos de SCIE do que há quinze anos atrás e por isso temos que nos sentir orgulhosos.

No acompanhamento deste desenvolvimento, os Laboratórios das instituições públicas Portuguesas também se apetrecharam com novos e importantes equipamentos, que permitem o ensaio e certificação dos produtos das indústrias nacionais, tornando estas mais competitivas na sua ação não só no mercado nacional como internacional.

Portugal é hoje uma referência mundial na área da SCIE, sendo respeitado no Brasil e restantes PALOP como no resto do mundo. Neste relacionamento deve se destacar a ligação com o Brasil não só ao nível dos bombeiros, dos técnicos da empresas e dos professores e investigadores que na ALBRASCI – Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio encontraram um espaço de discussão e colaboração em diferentes iniciativas em SCIE.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra, e em cada nova edição o sucesso vai-se renovando com o aparecimento de novos trabalhos científicos com um nível científico cada vez maior. Estas Jornadas têm constituído um fórum de debate alargado entre técnicos e demais interessados na área da SCIE.

As 4^{as} Jornadas em SCIE (4JORNINC) realizam-se este ano em Bragança, no Instituto Politécnico, pois esta é uma Escola que ao longo das últimas décadas tem realizado trabalho na área e criou um grupo de investigação que tem atuado ao maior nível em termos nacionais e internacionais. O número e qualidade das publicações submetidas a este evento foi muito bom pelo que o sucesso das 4JORNINC está assegurado.

Para finalizar queria agradecer a sua participação nestas Jornadas que serão certamente do seu maior interesse e profícuas para o seu desenvolvimento profissional.

João Paulo C. Rodrigues

COMISSÃO ORGANIZADORA

Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI)
João Carlos Viegas (LNEC)
Luís Mesquita (IPB)
Nuno Lopes (UA)
José Pedro Lopes (ANPC)
Paulo A. G. Piloto (IPB)



Laboratório Nacional de Engenharia Civil



COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina M. da Cruz Santiago (FCTUC)
António Moura Correia (IPC)
A. Sérgio Miguel (U Minho)
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
Carlos Pina dos Santos (LNEC)
Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)
Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
José Carlos M. Góis (FCTUC)
João Carlos Viegas (LNEC)
João Ferreira (IST)
João Paulo C. Rodrigues (FCTUC)
João Pinheiro (CDOS Bragança – ANPC)
João Ramôa Correia (IST)
Joaquim Barros (U Minho)
Jorge Gil Saraiva (LNEC)
Lino Forte Marques (FCTUC)
Luís Laím (FCTUC)
Luís Mesquita (IPB)
Miguel Chichorro Gonçalves (FEUP)
Nuno Lopes (UA)
Paulo A. G. Piloto (IPB)
Paulo Jorge M. F. Vila Real (UA)
Paulo Lourenço (U Minho)
Pedro Martins Arezes (U Minho)
Pedro Vieira Carvalheira (FCTUC)
Rui Faria (FEUP)
Vítor Carlos T. Abrantes (FEUP)

ÍNDICE

PREFÁCIO	i
COMISSÃO ORGANIZADORA	iii
COMISSÃO CIENTÍFICA	iv
PALESTRAS	1
O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS E OS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS	3
PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA OS RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	27
GRAU DE PRONTIDÃO DOS MEIOS DE SOCORRO E A EFICÁCIA DOS BOMBEIROS PORTUGUESES	37
CONTROLO DE FUMO EM GRANDES ÁTRIOS.....	47
VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO.....	61
ARTIGOS	111
SESSÃO DE ARTIGOS 1:	111
ANÁLISE DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E PROPOSTA DA SUA APLICAÇÃO EM MOÇAMBIQUE.....	113
UMA VISÃO SISTÊMICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL E A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM REGULAMENTO NACIONAL.....	127
ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO OS PRECEITOS DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME AS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS.....	139
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE MERCADORIAS.....	149
INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS – ENSAIOS À ESCALA REAL	157
IMPLEMENTAÇÃO DA DIRETIVA ATEX NO SETOR INDUSTRIAL	167
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES SECAS.....	177
COMPUTATIONAL SIMULATION ON THE PERFORMANCE OF AIR PLANE JETS FOR SMOKE CONTROL.....	187
CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO.....	199
SESSÃO DE ARTIGOS 2:	213
ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO NA ANTIGA VILA DOS PESCADORES EM PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL - BRASIL).....	215
ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DE GREENER À AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NOS CENTROS URBANOS ANTIGOS.....	225
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS.....	235

AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO URBANO – PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA ANÁLISE E GESTÃO DO EDIFICADO EXISTENTE	245
ORGANIZAÇÃO E GESTÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS: PRINCIPAIS GRUPOS DE INTERESSE.....	253
A SEGURANÇA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE SALVAMENTO E DE COMBATE A INCÊNDIOS	263
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS GESTÃO NO USO DOS EDIFÍCIOS	273
ESTUDO DA EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS.....	283
O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAÇÃO EM LOCAIS DE RISCO.....	293
SESSÃO DE ARTIGOS 3:	305
ANÁLISE NUMÉRICA DA ENCURVADURA POR ESFORÇO TRANSVERSO EM VIGAS SUJEITAS A INTERAÇÃO ENTRE ESFORÇO TRANSVERSO E MOMENTO FLETOR A TEMPERATURAS ELEVADAS	307
ESTUDO PARAMÉTRICO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM C ENFORMADAS A FRIO	319
EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON THE BOND STRENGTH OF FRP-STRENGTHENED BRICKS	331
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN A ALTAS TEMPERATURAS.....	341
RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO INOXIDÁVEL COM SECÇÕES TUBULARES QUADRADAS DE CLASSE 4 SUJEITOS A FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO	351
COMPORTAMENTO AO FOGO DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAÇÃO DE BASE GESSO SUJEITOS A INCÊNDIO NATURAL	363
COMPORTAMENTO AO FOGO DE VIGAS DE BETÃO ARMADO REFORÇADAS À FLEXÃO COM LAMINADOS DE CFRP COLADOS EXTERIORMENTE. ESTUDO EXPERIMENTAL	375
ANÁLISE NUMÉRICA DE VIGAS MISTAS PARCIALMENTE REVESTIDAS DE AÇO E CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	387
ANÁLISE TÉRMICA DE PILARES DE AÇO EXPOSTOS A INCÊNDIOS LOCALIZADOS.....	399
SESSÃO DE ARTIGOS 4:	411
PROPAGAÇÃO DE CHAMAS ATRAVÉS DE VÃOS DE FACHADA EM EDIFÍCIOS.....	413
COMPORTAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE GFRP. ESTUDO EXPERIMENTAL	425
BETÕES CORRENTES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	435
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MODELOS DE CÁLCULO DA EN1993-1-2 PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE VIGAS C EM AÇO ENFORMADAS A FRIO.....	445
BETÃO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E TÊXTEIS RECICLADAS DE PNEU SUJEITO A ALTAS TEMPERATURAS.....	457
ANÁLISE TÉRMICA 2D E 3D DE UM PAVIMENTO/COBERTURA EM MADEIRA COM PERFURAÇÕES.....	467
RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM MADEIRA E SECÇÕES DE PERFIS EM AÇO.....	475

4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
Instituto Politécnico de Bragança - Portugal - 6-7 de Novembro de 2014

REDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES METÁLICAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO SUJEITAS AO FOGO	483
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE.....	493
SESSÃO DE ARTIGOS 5:.....	505
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	507
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA.....	517
RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO	527
REAÇÃO AO FOGO DE BETÃO COM E SEM FIBRAS DE POLIPROPILENO – ANÁLISE EXPERIMENTAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA.....	537
VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS NÃO UNIFORMES EM AÇO - VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO GERAL DO EC3.....	549
FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES.....	559
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834.....	569
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PERFIS C E Z ENFORMADOS A FRIO	579
ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA.....	589
FATOR DE REDUÇÃO DO NÍVEL DE CARREGAMENTO, η_n : VALORES DE PROJETO E CONSEQUÊNCIAS DA SIMPLIFICAÇÃO APONTADA NO EC2-1-2.....	599
NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, n : VALORES DE PROJETO E VALORES MÁXIMOS APONTADOS NO EC2-1-2	609

COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE

Alexandre Araújo
Aluno
IPB - Bragança

Débora Ferreira*
Professora
IPB - Bragança

Elza Fonseca
Professora
IPB - Bragança

Paulo Piloto
Professor
IPB - Bragança

Jorge Pinto
Professor
UTAD – Vila Real

RESUMO

O presente trabalho pretende dar um contributo no estudo do comportamento de paredes em tabique, nomeadamente na quantificação e qualificação da sua resistência ao fogo. Este estudo baseia-se, fundamentalmente, na análise experimental e numérica de modelos de parede à escala real, em madeira de pinho nacional com preenchimento e acabamento à base de uma argamassa terrosa bastarda de terra e cal. Para a elaboração do modelo experimental à escala real procedeu-se à análise e avaliação em laboratório, da argamassa a utilizar. A estrutura em madeira foi construída com base nas construções em tabique existentes na Associação de Municípios do Alto Tâmega. O modelo experimental possui a geometria apropriada e foi ensaiado num forno de resistência ao fogo, preparado para trabalhar com a curva de incêndio normalizada ISO834. As temperaturas foram registadas utilizando dois sistemas de aquisição de dados (medição pontual e medição de campo). Foi também desenvolvido um modelo numérico, validado experimentalmente, utilizando uma análise não linear material em regime transiente e com recurso a um programa de elementos finitos.

PALAVRAS-CHAVE: Parede de tabique; construção sustentável; fogo

1. INTRODUÇÃO

O tabique define-se como uma técnica tradicional portuguesa amplamente aplicada até ao início do século XX, que emprega como materiais a terra e a madeira. Estes materiais constituintes são de origem local, pelo que se justificam as diferentes incidências geográficas em termos de aplicação de tabique em Portugal. A construção em tabique, normalmente, era usada em paredes interiores, contudo na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, esta solução construtiva em paredes exteriores era muito frequente.

* Autor correspondente – Dep. de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança. Campus Santa Apolónia, 5301-857 Bragança.
Telef.: +351 273 303061, Fax: +351 273 313051, E-mail: debora@ipb.pt

O tabique é constituído por uma estrutura de madeira, formada por tábuas verticais ligadas entre si por um fasquio através de pregos metálicos e revestida por um solo argiloso ou por uma argamassa terrosa bastarda. A madeira tem como função conferir a capacidade resistente à parede, e a terra possui as funções de enchimento e revestimento. Em trabalhos de investigação recentes [1-3] tem-se concluído que as construções em tabique apresentam geralmente um estado debilitado de conservação. Abandono, escassez de recursos económicos e falta de conhecimento técnico têm sido os principais fatores apontados para justificar esta realidade. No sentido de inverter esta tendência é necessário sensibilizar a população para o crescente interesse de preservar e de valorizar o património construído. Neste contexto, os processos de reabilitação são a ferramenta central.

Em termos de reação e resistência ao fogo, pouco ou nada se sabe sobre este tipo de construção, dispondo-se apenas de alguma informação sobre os materiais aplicados. Relativamente ao solo, e com base em estudos realizados, comprovou-se que é um material com uma boa resistência ao fogo. A madeira apresenta-se em geral, como um material de comportamento ao fogo bem determinado. O seu comportamento físico é condicionado pela formação de uma camada de carbonização, que poderá permitir o isolamento para o interior da secção estrutural. Assim, a sua degradação ocorre de forma lenta e quando comparada com estruturas em betão ou aço, as estruturas de madeira apresentam, por isso, um melhor comportamento estrutural [4]. Inicialmente, a superfície exterior da madeira entra em combustão, mas a camada carbonizada que ocorre isola cerca de seis vezes o interior da própria madeira protegendo-a.

O trabalho que se apresenta pretende dar um contributo técnico nos processos de reabilitação de construção em tabique, comprovando que as paredes em tabique possuem uma boa capacidade de resistência ao fogo. Para tal, foi construída uma amostra de parede em tabique e ensaiada ao fogo segundo a norma EN 1364-1 [5]. Os critérios de desempenho relacionados com o isolamento e a estanquidade foram avaliados. Os resultados obtidos experimentalmente permitiram validar um modelo numérico desenvolvido com as mesmas características.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL E INSTRUMENTAÇÃO

2.1 Material de enchimento

As paredes em tabique foram preenchidas com argamassa de saibro e cal. Foi necessário preparar e aplicar um material de enchimento capaz de simular com o maior rigor possível um cenário de obra real. Este material de revestimento é geralmente um solo argiloso simples ou uma argamassa terrosa bastarda. A aferição da adequabilidade do solo foi realizada em trabalhos de investigação desenvolvidos na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) [6, 7]. O solo utilizado na construção do modelo de parede em tabique foi recolhido na freguesia de Soutelinho da Raia, no Concelho de Chaves. No entanto, foi necessário realizar diversas argamassas segundo a composição e a curva granulométrica encontrada pelos investigadores da UTAD [7], ver Figura 1. Observou-se que todas as amostras ensaiadas apresentam um modo de rotura frágil, do tipo fissura vertical a meio vão. Os resultados obtidos

em termos médios foram de 0.46 MPa de resistência à flexão e de 4.27 MPa resistência à compressão, ver figura 2.

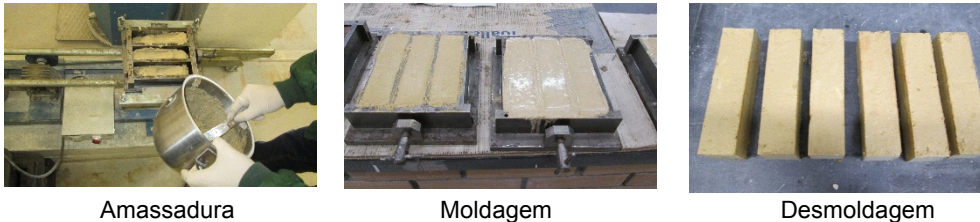


Figura 1: Aferição em laboratório do material de revestimento



Figura 2: Ensaio à flexão e à compressão

2.2 Construção da parede em tabique

O sistema construtivo de parede simples em tabique caracteriza-se por uma estrutura mais leve. A sua execução assenta numa estrutura de tábuas de madeira, colocadas na vertical, sobre as quais se prega um ripado horizontal (fasquias) distanciadas entre de si de 35 mm, ver Figura 3.



Figura 3: Sistema estrutural da parede de tabique

A aplicação da argamassa de revestimento ao suporte de madeira foi um processo de fácil execução, a maior dificuldade surgiu na aderência da argamassa ao fasquio de madeira, por esta apresentar a superfície muito lisa. A espessura da argamassa de recobrimento foi de 15 mm e a parede final ficou com aproximadamente 90 mm de espessura. Após a aplicação da argamassa terrosa, cada parede de teste permaneceu em condições termo higrométricas controladas em laboratório durante 30 dias. Durante este período de tempo, as amostras secaram naturalmente.

2.3 Instrumentação da parede de tabique

A avaliação do comportamento das paredes de tabique ao fogo foi realizada recorrendo à instrumentação da parede com termopares para medição das temperaturas. Esta instrumentação foi baseada na norma EN 1364-1 [5]. O comportamento ao fogo da parede foi controlado por intermédio de termopares tipo K, colocados a diferentes profundidades para registo das temperaturas na argamassa (TA) e na madeira (TM), de acordo com o esquema apresentado na Figura 5. A face não exposta ao fogo foi instrumentada com termopares de disco (TD) dispostos de acordo com o mesmo esquema e foi ainda efetuada uma medição de campo com câmara de termografia de infravermelhos.

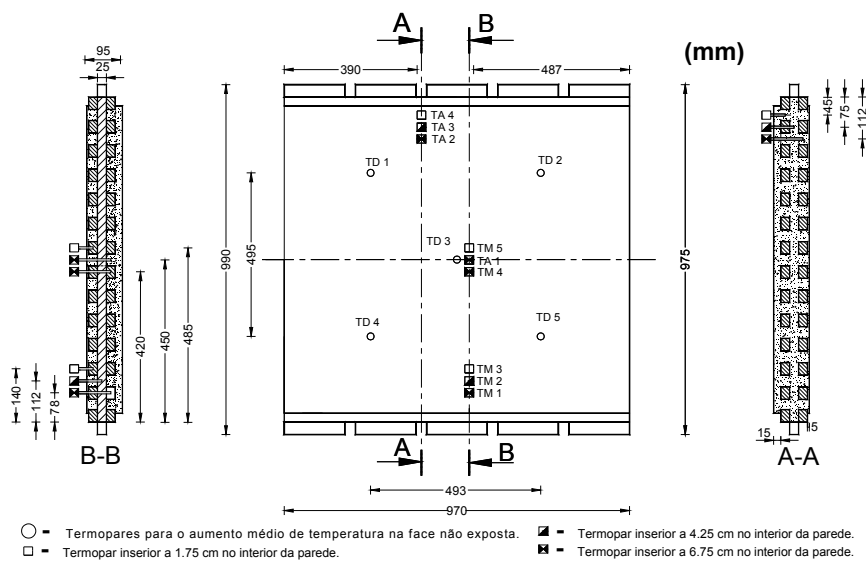


Figura 5: Localização dos termopares

A Figura 6 representa a instalação dos termopares tipo K, colocados a diferentes profundidades na espessura da parede. O critério do isolamento foi analisado através da colocação, na face não exposta ao fogo, de termopares de disco (TD) protegidos com placas de isolamento quadrangulares (gesso cartonado) de acordo com a norma EN1363-1 [8].



Figura 6: Instrumentação da parede de tabique com termopares

3. COMPORTAMENTO AO FOGO DAS PAREDES DE TABIQUE

3.1 Ensaio experimentais

Os ensaios experimentais das paredes de tabique foram realizados no forno de resistência ao fogo existente no Instituto Politécnico de Bragança. O acoplamento das paredes ao forno é feito através de um aro realizado para este fim, ver Figura 7.



Figura 7: Montagem da parede no forno

A curva de aquecimento imposta pelo forno no decurso dos ensaios experimentais seguiu a curva ISO 834 [9]. A parede de tabique, no início do ensaio, estava à temperatura ambiente do laboratório, cerca de 21°C. Durante o ensaio foi verificada estanquidade da amostra da parede, havendo no entanto a libertação de fumo procedente da furação utilizada na fixação da parede. Após 35 min o ensaio foi interrompido. No final do ensaio, e após a abertura da porta do forno, verificou-se que a argamassa tinha fissurado e a madeira do fasquio estava em combustão. Na Figura 8 são apresentadas algumas imagens do ensaio.



Figura 8: Ensaio da parede de tabique

3.2 Modelo numérico

O modelo numérico da parede de tabique foi desenvolvido utilizando um programa de simulação numérica (Ansys). Foi efetuada uma análise térmica bidimensional em regime transiente utilizando elementos planos, para cada uma das secções A e B, ver Figura 5.

Foi dada particular atenção ao comportamento não linear a altas temperaturas dos materiais utilizados no modelo: a madeira e a argamassa terrosa utilizada no enchimento.

A madeira tem comportamento não linear dependente da temperatura, cujas propriedades térmicas se encontram definidas no anexo B do Eurocódigo 5 [10]. As propriedades térmicas a considerar são a condutividade térmica, o calor específico e a massa volúmica, conforme representado na Figura 9. A massa volúmica da madeira, à temperatura ambiente e considerada neste trabalho, foi igual a 450 kg/m^3 e a emissividade igual a 0,8.

As propriedades da argamassa terrosa foram determinadas após várias simulações numéricas por aproximação aos resultados experimentais, Figura 10. Foram consideradas as propriedades conforme enunciado no Eurocódigo 6 [11] e por Nguyen [12]. A massa volúmica foi considerada constante, igual a 1290 kg/m^3 e sendo a emissividade igual 0,85.

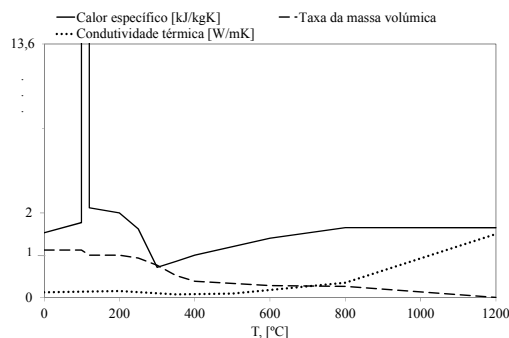


Figura 9: Propriedades térmicas da madeira.

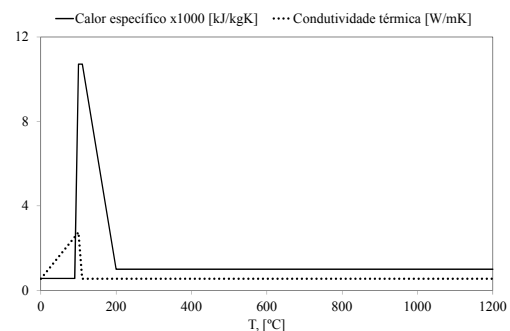


Figura 10: Propriedades térmicas da argamassa terrosa.

A variação do calor específico da argamassa e da madeira permite simular o fenómeno relativo à libertação da humidade. As condições de fronteira, admitidas no problema são de convecção e radiação. Foi utilizada a curva ISO 834 [9] para a evolução da temperatura ambiente na face da parede exposta ao fogo.

No instante inicial, o modelo da parede de tabique foi considerado à temperatura ambiente de 21°C . Foi utilizado um coeficiente de convecção igual a $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ na superfície exposta ao fogo e $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ na superfície não exposta. O fator de emissividade em ambas as superfícies do modelo foi considerado igual a 0,9 [12].

O comportamento térmico da madeira pode ser descrito através dos processos de formação da zona da pirólise e da camada de carbonização. O processo de pirólise faz com que a massa

volúmica da madeira varie em função do aumento da temperatura. No modelo numérico, e para o último instante de tempo, foi aplicado o critério em que a camada carbonizada na madeira ocorre entre 280 a 300°C, Eurocódigo 5 [10].

A Figura 11 representa o campo de temperaturas para cada secção (A e B) no instante final da análise. No modelo numérico a zona correspondente a cor cinza permite verificar a camada da madeira carbonizada, uma vez que ultrapassa o critério imposto de temperatura.

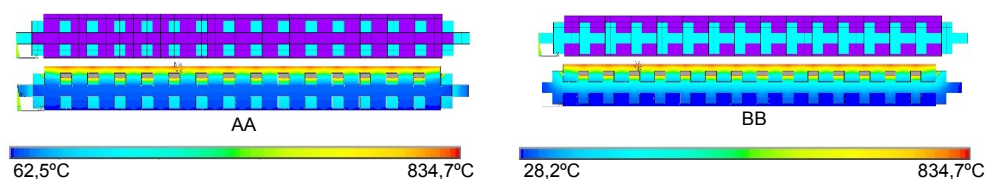


Figura 11: Resultados numéricos para o instante 2100s.

3.3 Resultados obtidos

A evolução da temperatura na parede de tabique, na face não exposta e no seu interior, é representada nas Figuras 12 a 14. Nesses mesmos gráficos é feita a análise comparativa entre os resultados obtidos por via experimental (e) e numérica (n).

Na Figura 12 apresentam-se os resultados obtidos para os termopares aplicados na madeira estrutural (TM), no interior da parede. Os resultados obtidos na argamassa de enchimento (TA) são apresentados na Figura 13 e na Figura 14 apresentam-se os resultados obtidos nos termopares de disco (TD) aplicados na face não exposta da parede.

A libertação da humidade na argamassa foi verificada durante os ensaios experimentais e na simulação numérica, através do patamar de temperatura constante.

As maiores temperaturas registadas na estrutura de madeira foram lidas nos termopares aplicados a maior profundidade (67.5 mm), próximos da face mais exposta ao fogo, ou seja, nos TM1 e TM4, tendo atingido temperaturas entre os 110°C e os 130°C. Para os restantes termopares aplicados a 42.5 mm e a 17.5 mm, as temperaturas mantiveram-se praticamente inalteradas, ou seja, iguais à temperatura ambiente registada no laboratório (21°C). O modelo numérico segue com grande aproximação os resultados experimentais.

Da análise do gráfico representado na Figura 13 verifica-se que a argamassa atingiu valores de temperatura mais elevados que os registados na madeira. Os termopares inseridos a 67.5 mm, TA1 e TA2, mediram valores da ordem dos 160°C a 190°C, enquanto os termopares inseridos a menor profundidade obtiveram valores da ordem dos 95°C.

Os valores de temperatura registados na face não exposta foram ao longo do ensaio sempre próximos da temperatura ambiente a que a parede estava sujeita, apenas no fim do ensaio subiram ligeiramente até ao valor máximo de 50°C, registado no TD3, localizado no centro da

parede, ver Figura 14. Durante os primeiros 25 minutos de ensaio, a argamassa de enchimento permite isolar a parede ao fogo. No fim do ensaio, e após a abertura da porta do forno, verificou-se que a argamassa de recobrimento, na face exposta ao fogo, estava fissurada, a madeira entrou em combustão o que resultou na perda de eficácia do isolamento da parede refletido no aumento da temperatura na face não exposta.

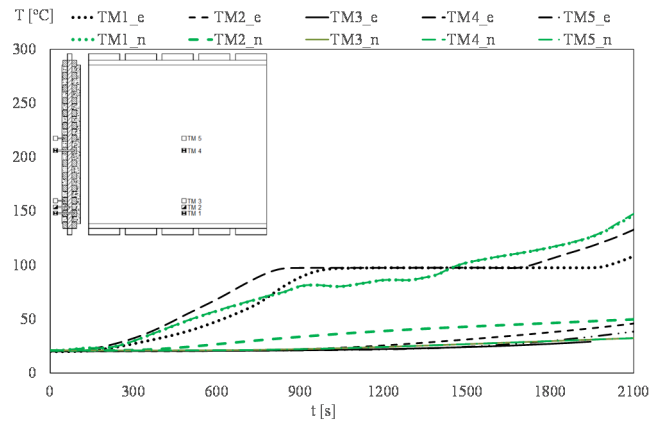


Figura 12: Resultados obtidos nos termopares aplicados na madeira estrutural

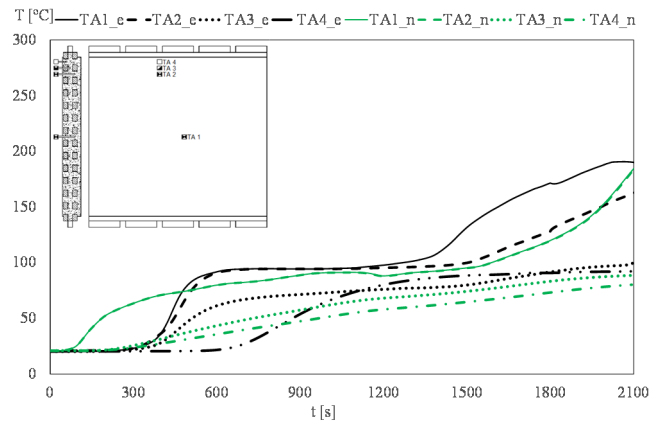


Figura 13: Resultados obtidos nos termopares aplicados na argamassa de enchimento

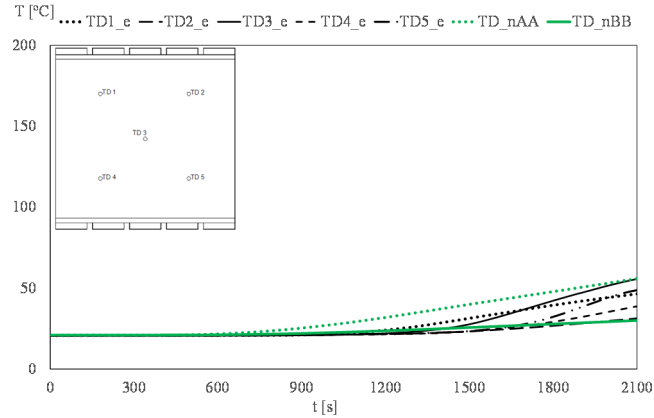


Figura 14: Resultados obtidos nos termopares de disco aplicados na face não exposta

Na figura 15 estão representados os resultados das medições de campo realizadas com termografia de infravermelhos (IR).

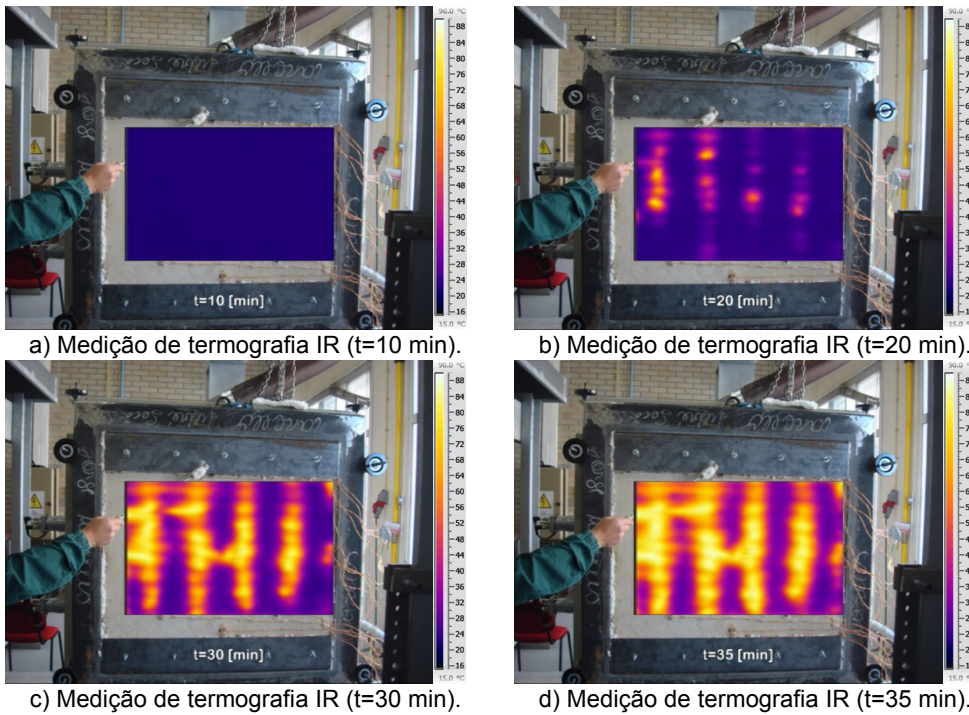


Figura 15: Resultados de campo com termografia IR

Estes resultados permitem verificar o efeito de isolamento da madeira e que o comportamento térmico não é uniforme, pelo que os resultados de termografia IR são muito importantes neste tipo de ensaio.

4. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos conclui-se que o critério de isolamento, definido segundo a norma europeia de ensaios de resistência ao fogo (EN1363-1 1999) [8] para ensaios normalizados, foi cumprido para a duração do ensaio. A verificação do isolamento foi feita tendo em conta que o incremento médio de temperatura em relação à temperatura média inicial não foi superior a 140°C ou que o incremento máximo de temperatura em qualquer ponto da face não exposta, não superou a temperatura inicial em 180°C.

O critério de estanquidade foi igualmente verificado ao longo de todo o ensaio, para tal recorreu-se a uma bola em algodão embebida em álcool etílico tendo-se registado a ausência de chama e de ignição do algodão.

A comparação dos resultados experimental e numérico revelou uma boa concordância entre os dois métodos. A validação do modelo numérico é importante pois permite avaliar, ainda em fase de projeto, a segurança de estruturas quando sujeitas a situações de incêndio e o tempo de resistência antes do colapso.

Os resultados obtidos revelam-se de extrema importância, pois dão a conhecer, mais pormenorizadamente, o comportamento das paredes de tabique em situação de incêndio, podendo prever-se o tempo de resistência antes do seu colapso, aumentando a segurança das pessoas e dos bens.

REFERÊNCIAS

- [1] Cepeda A. - *Construções em tabique existentes na Associação de Municípios do Alto Tâmega*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Orientador: Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto (UTAD), Vila Real, 2009.
- [2] Carvalho J. - *Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Orientador: Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto (UTAD), Vila Real, 2009.
- [3] Gonçalves C. - *Construção em tabique da Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana (AMTQT)*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2010.
- [4] Faria, J. Amorim, Negrão, João. *Projeto de Estruturas de Madeira* Publindústria Edições Técnicas, 2009.
- [5] EN1364-1 – Ensayos de Resistencia al fuego de elementos no portantes – Parte 1: Paredes, 1999.
- [6] Martinho J. - *Construção em tabique na Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano (AMTFNT)*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Vila Real, 2010.
- [7] Soares N. – *Soluções construtivas tradicionais de revestimentos de paredes exteriores em tabique*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Vila Real, 2010.

- [8] EN1363-1. "Fire resistance tests. Part 1, general requirements." August de 1999.
- [9] ISO 834-1: Fire-resistance tests - Elements of building construction – Part 1: general requirements, 1999.
- [10] EN1995-1-2: 2003. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: Structural fire design. CEN - Comité Euron.CEN - Comité Européen de Normalisation, 2003.
- [11] EN1996-1-2: 2005. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-2: General rules – structural fire design. CEN - Comité Euron.CEN - Comité Européen de Normalisation, 2005.
- [12] Nguyen D., Meftah F. - Behavior of hollow clay brick masonry walls during fire. Part2: 3D finite element modeling and spalling assessment, Fire Safety Journal, 66, 35-45, 2014.