**O DESEMPENHO DA COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL SELETIVA NA PROMOÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES:**

**Simulação computacional como instrumento de avaliação em edificações universitárias.**

Leonardo Cunha.

Contato: leonardo\_cunha83@yahoo.com.br

Tecnologia e Conforto no Ambiente Construído

**INTRODUÇÃO**

O presente artigo trata dos resultados da pesquisa que aborda o desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da Segurança Contra Incêndio em Edificações – SCIE. A compartimentação horizontal é uma medida de proteção passiva de total controle por parte do arquiteto, passível de ser definida logo nas primeiras fases do processo projetual. A experiência profissional do autor permite identificar uma recorrente reconfiguração dos ambientes acadêmicos, objetivando ajustá-los à demanda surgente por espaço. Independentemente do momento em que ocorre o particionamento, seja na fase de projeto ou durante a ocupação da edificação, as normas só consideram o ambiente compartimentado quando são empregados os elementos classificados como corta-fogo. Entretanto, considerando que os minutos iniciais de um incêndio são os mais importantes na desocupação da edificação, defende-se a hipótese de que elementos ignorados pelas prescrições normativas são capazes de promover a SCIE ao favorecer a evacuação e o resgate dos ocupantes. A partir de um modelo representativo de uma sala de aula existente, utilizou-se a simulação computacional para testar o desempenho de um tipo de compartimentação horizontal seletiva com diferentes combinações de aberturas para exaustão da fumaça. Nos resultados obtidos observou-se que a compartimentação horizontal seletiva é capaz de proporcionar dois benefícios para os ocupantes da edificação em uma situação de incêndio: promover maior altura da camada livre de fumaça e retardar o instante em que a temperatura-limite para a sobrevivência humana é atingida.

**OBJETIVOS**

Propor e analisar, com o auxílio da simulação computacional, um tipo de compartimentação horizontal seletiva aplicada em um modelo representativo de uma sala de aula de médio porte.

**MÉTODO**

A pesquisa foi conduzida seguindo o método denominado hipotético-dedutivo, proposto pelo filósofo Austríaco Karl Popper, que consiste em “buscar a verdade eliminando tudo o que é falso” (PORANTIM, 2013, p. 1). O método hipotético-dedutivo, conforme descrito por Lucena (2011), mostrou-se particularmente adequado para a pesquisa realizada, pois contempla a etapa de testes como principal forma de validação de uma hipótese inicialmente proposta.

**DESENVOLVIMENTO**

A segurança contra incêndio corresponde ao conjunto de medidas para mitigar o risco de ocorrência de um incêndio e, em caso de sinistro, minimizar as consequências decorrentes. A ocorrência de incêndios é baixa se comparada com outros incidentes que a sociedade está cotidianamente suscetível. Mesmo em uma edificação incendiada, o risco de morte é pequeno, pois pressupõe falhas sucessivas ou a ausência de vários sistemas prevenção e proteção. Segundo Silva, “pesquisas europeias mostram que o risco de morte em incêndios é 30 vezes menor do que o risco de morte no sistema de transporte” (SILVA, 2004, p. 67). Apesar do baixo risco de incidência e de óbitos, a proteção à vida deve ser entendida como prerrogativa essencial na acepção arquitetônica de SCIE. Assim, a SCIE deve se afirmar como uma diretriz independente daquelas contidas no programa de necessidades listado pelo cliente.

Uma medida de proteção passiva determinante na SCIE é a compartimentação da edificação, que consiste na subdivisão do edifício em ‘células’ capazes de confinar a ação do incêndio no ambiente de origem. A compartimentação horizontal visa evitar a propagação do incêndio ao longo de um pavimento, enquanto que a vertical busca impedir o avanço entre pavimentos sucessivos. Por restringir as chamas e seus subprodutos no interior do ambiente de origem, a compartimentação contribui efetivamente para a evacuação segura dos ocupantes da edificação, bem como nas operações de combate ao fogo e resgate.

A avaliação típica da compartimentação é feita por meio da verificação dos elementos característicos. A certificação em vigor segue uma distinção binária, do tipo: ‘existe’ ou ‘não existe’, bastando a ausência de um único elemento para que a edificação seja classificada como não compartimentada. Desse modo, pouca atenção é dada ao desempenho dos elementos não previstos nas normas. Contudo, torna-se justificável a avaliação da eficiência dos elementos ignorados pelos códigos prescritivos tradicionais no contexto atual, em concordância ao pensamento de Ono (2011, p. 23), que destaca a tendência mundial em seguir recomendações com base no desempenho.

A avaliação do desempenho das medidas passivas de SCIE torna-se mais proveitosa quando realizada por uma ferramenta de análise compatível com a atividade projetual. Nesse contexto, os *softwares* de dinâmica computacional de fluidos [CFD, na sigla em inglês] surgem como uma possibilidade viável, pois são capazes de simular a dinâmica do fogo, a propagação do calor e a dispersão da fumaça. A simulação computacional de incêndio pode ser encarada como um instrumento complementar aos métodos experimentais ou à coleta de dados em incêndios pregressos, pois permite a análise de múltiplas alternativas sem os riscos ou os custos inerentes aos métodos laboratoriais ou ocasionais. Todavia, sabe-se que a aceitação da avaliação de desempenho por meio da simulação computacional não é consensual, pois ainda “existem dúvidas em relação ao desempenho dos *softwares* e incerteza se são capazes de reproduzir as condições ocorridas em um incêndio real” (RUSCHEL, 2011, p. 19). Nesse sentido, o autor do presente trabalho compartilha a opinião de Silva (2014), ao afirmar que: “antes de se avançar para modelos computacionais, devem-se conhecer os métodos prescritivos e os conceitos sobre o tema” (SILVA, 2014, p. 107).

**Compartimentação horizontal ‘seletiva’.**

Observando as prescrições normativas, percebe-se que subdivisões realizadas durante a fase de ocupação dificilmente seriam aceitas como elementos de compartimentação, pois não atendem de modo satisfatório aos requisitos de isolamento, estanqueidade, e, principalmente, integridade em uma situação de incêndio. Todavia, há de se reconhecer que espaços parcialmente compartimentados podem apresentar desempenho superior de SCI em relação ao vão livre, desde que as divisórias não configurem obstáculos às saídas de emergência. Ainda nessa linha do raciocínio é possível identificar um relevante ponto levantado por Costa, Ono e Silva (2005), no artigo que trata da relação entre compartimentação e o dimensionamento das estruturas de concreto:

“Não foi encontrada a diferenciação entre compartimentação ao calor e à fumaça. A fumaça tóxica, embora responsável pela maior parte dos óbitos em incêndios, não causa prejuízo às estruturas. São possíveis compartimentos contendo aberturas que permitem apenas a passagem de fumaça mas, na existência de baixa carga de incêndio, é improvável a transferência de chamas ou calor significativo. A legislação deve prever a diferença entre compartimentar o calor ou a fumaça” (Costa, Ono e Silva, 2005, p. 24).

A preocupação originalmente exposta no artigo com as estruturas de concreto pode ser estendida para proteção dos ocupantes. Logo, condensando as assertivas dos autores citados, torna-se plausível a ideia de que um elemento de vedação vertical provido de aberturas para exaustão da fumaça, mas capaz de confinar chamas e calor no ambiente de origem, poderia proporcionar melhores condições de escape aos ocupantes da edificação em uma situação de incêndio. Tomou-se a liberdade de denominar esse sistema de ‘compartimentação seletiva’.

**Materiais e procedimentos**

O modelo

O modelo escolhido refere-se à sala de aula de maior dimensão, localizada no pavimento superior do projeto denominado: “Bloco de salas de aulas de dois pavimentos”, desenvolvido pela Superintendência de Infraestrutura da Universidade Federal do Semiárido – SIN/UFERSA. A escolha desse ambiente deve-se à possibilidade de múltiplos leiautes, como pode ser confirmado tanto no projeto base, quanto nos projetos derivados.

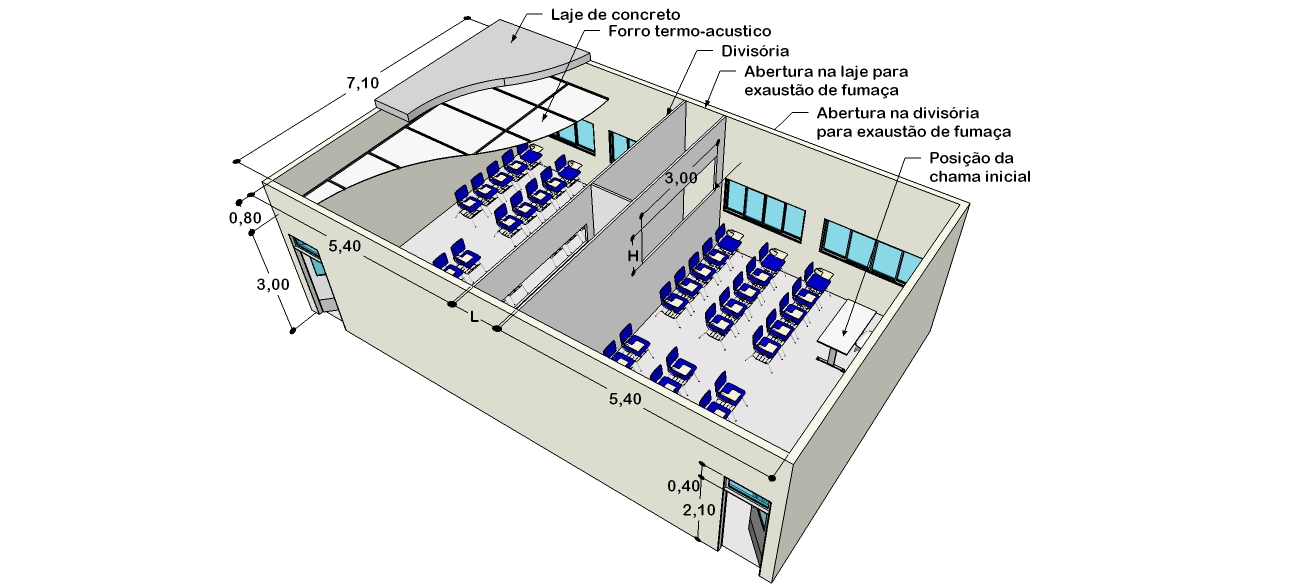
Com base nas medidas e nas descrições do projeto arquitetônico do referido prédio, afere-se que o modelo constitui-se de um prisma de base retangular, medindo 7,10 x 11,90 x 3,80 m [largura x cumprimento x altura]. A sala livre de divisórias, doravante denominada ‘caso base’, dispõem de duas portas de 0,90 x 2,10 m [largura x altura], providas de bandeirola de vidro fixo com altura de 0,40 m, dispostas nas extremidades da parede voltada para o corredor central. As quatro janelas, dispostas na parede oposta à porta, medem 2,50 x 1,00 x 1,10 m [largura x altura x peitoril] e são voltadas para o meio externo. O forro é de placas termoacústicas removíveis, apoiadas sobre armação de alumínio. As paredes de envoltória são de alvenaria convencional, emassadas e pintadas em ambas às faces. Piso e cobertura são de laje de concreto pré-moldado, tipo volterrana.

A partir do ‘caso-base’ [CB], foram considerados 17 variações de subdivisão do ambiente original. O primeiro caso, doravante denominado ‘DIV’, representa o particionamento tradicional, onde a sala é dividida ao meio por uma divisória simples, posicionada transversalmente no centro da sala. Os casos ‘CB’ e ‘DIV’ servem como referência para a avaliação do desempenho dos demais casos, os quais representam propostas de compartimentação horizontal seletiva.

A compartimentação horizontal seletiva, ora proposta, resulta da disposição de duas divisórias paralelas, providas de aberturas posicionadas próximas ao forro, voltadas alternadamente para as salas geradas a partir da subdivisão do ambiente original. O vão entre as divisórias é dividido ao meio, para evitar que a fumaça gerada em um ambiente invada a sala oposta. Por fim, foram concebidas aberturas nas lajes para a exaustão da fumaça para o meio externo. (Figura 1).

A altura da abertura na divisória (representado pela letra H na Figura 1) e a largura do vão na laje (representado pela letra L na Figura 1) foram dimensionados com base em quatro medidas: 0,25 m; 0,50 m; 0,75 m e 1,00 m. A largura da abertura na divisória e o comprimento do vão na laje e de 3,00 m em todos os casos. Dessa maneira, os dezesseis casos de compartimentação seletiva correspondem às combinações possíveis entre as quatro alturas da abertura na divisória e as quatro larguras do vão da laje. Em todos os casos, foram simuladas duas situações, considerando as esquadrias do ambiente incendiado fechadas ou abertas [essa última identificada pela terminação ‘\_open’].

Figura 1: Representação esquemática da compartimentação seletiva aplicada no modelo adotado nas simulações



Fire Dynamics Simulator – FDS.

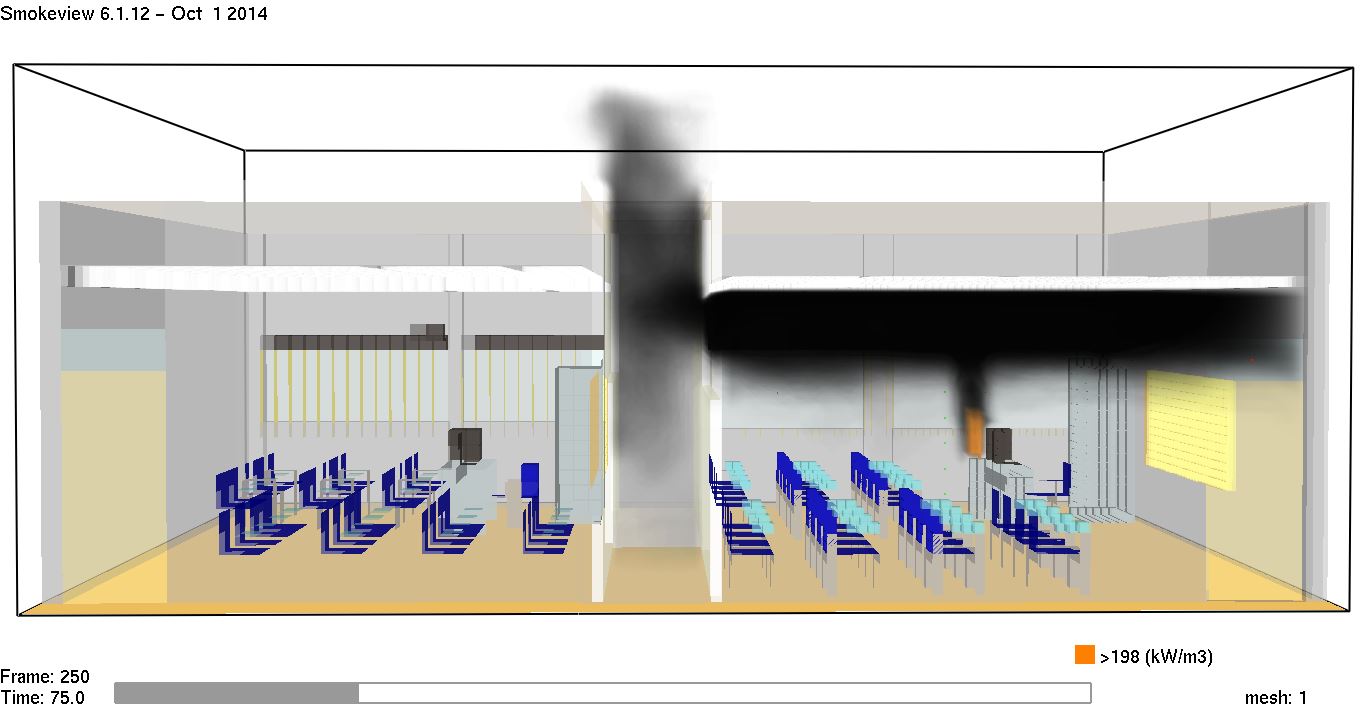
O *Fire Dynamics Simulator* [FDS] é o *software* mais recorrente na bibliografia pesquisada para simulação de incêndio. Desde o seu desenvolvimento no ano 2000, pelo *National Institute of Standards and Technology* [NIST], vem sendo utilizado na resolução de problemas de engenharia de segurança contra incêndio e em pesquisas da dinâmica do fogo e da combustão. O FDS resolve numericamente as equações de mecânica dos fluidos voltadas para escoamentos de baixa velocidade, termicamente dirigido e com ênfase no transporte de calor e fumaça. A partir das simulações realizadas no FDS é possível conhecer, por exemplo: a formação, o deslocamento, a altura e a temperatura da camada de fumaça; a evolução das chamas e a taxa de oxigênio consumida durante o incêndio.

Aspectos operacionais: Domínio, malha e condições de contorno.

A simulação de incêndio consiste em um ambiente virtual, denominado domínio, composto pelos elementos participantes do fenômeno físico de interesse. O domínio é subdividido em células justapostas, dentro das quais são solucionadas, repetidas vezes, as equações da mecânica dos fluidos. O conjunto destas células recebe o nome de malha.

Observando as dimensões do modelo e a disposição das aberturas, optou-se por um domínio com recuos nos eixos cartesianos ‘y’ e ‘z’, de modo que as paredes do domínio não interferissem na exaustão de fumaça. A ausência de aberturas nas paredes laterais tornou dispensável a existência de recuos no eixo ‘x’. Seguindo a indicação de Gissi (2010, p. 60), adotou-se uma malha com dimensão linear de 0,10 m nos três eixos cartesianos (Figura 2).

Figura : Exemplo de uma simulação no FDS de um caso provido de compartimentação horizontal seletiva



A caracterização das condições de contorno envolve: (a) a descrição das fases do incêndio: ignição, crescimento, desenvolvimento e extinção; (b) o comportamento das chamas e de seus subprodutos e (c) a iteração desses com as variáveis ambientais e com os sistemas de proteção. É a parte mais desafiadora na criação da simulação (McGRATTAN, et. al., 2014, p. 63), dado a quantidade de variáveis envolvidas. É preciso, portanto, selecionar um conjunto reduzido e manipulável de variáveis.

Seguindo a indicação de Alves (2010, p. 206), empregou-se o ‘poliuretano padrão’ do programa como sendo o material que reage com a chama. A Taxa de liberação de calor foi determinada com base nos valores referentes ao “crescimento de incêndio médio”, retirada da norma britânica BS 3974/2001 (Apud. SEITO, et al. [coord.] 2008, p. 45). Ao parâmetro que determina a fração do composto convertida em fumaça durante a combustão, foi atribuído o valor de 5% (ROBBINS; WADE, 2007, p. 13). As simulações foram configuradas para representar os primeiros 300 segundos do incêndio, uma vez que experimentos monitorados indicam que em incêndios não explosivos o *flashover* acontece, normalmente, no intervalo de até cinco minutos após o surgimento do foco inicial (MOUNT PENN FIRE COMPANY, 2015 e FPA, 2012). Na Tabela 1 resume-se a configurações adotadas nas simulações.

Tabela 1 – Configuração das simulações

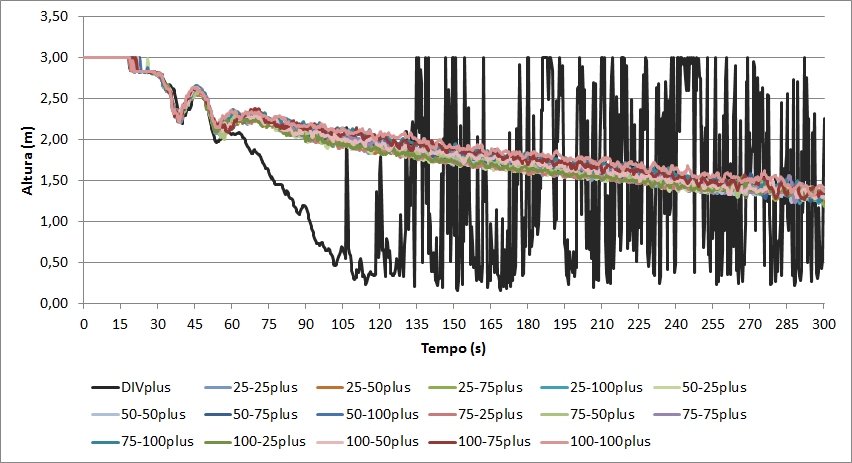
|  |  |
| --- | --- |
| DOMÍNIO [X; Y; Z] (m) | 12,2 ; 8,4 ; 5,0 |
| MALHA (Qnd de células) [X; Y; Z] | 122 ; 84 ; 50 |
| TOTAL DE CÉLULAS | 512.400 |
| TAXA DE LIBERAÇÃO DE CALOR | Retirado da norma BS 3974/2001 |
| COMPOSTO QUEIMANTE | Poliuretano padrão do FDS |
| FRAÇÃO DO COMPOSTO TRANSFORMADA EM FUMAÇA | 5% |
| TEMPO (s) | 300 |

**Resultados**

Altura da camada livre de fumaça

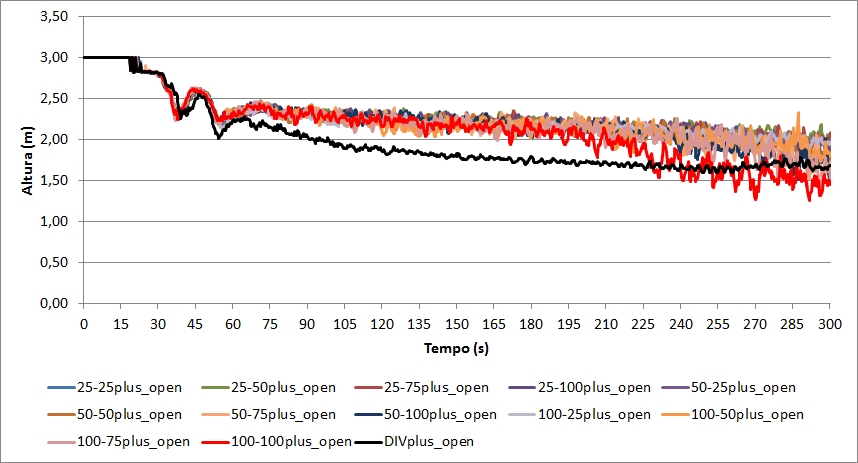
A leitura dos dados referentes à altura da camada livre de fumaça foi obtida por meio do comando “&DEVC (...) QUANTITY='LAYER HEIGHT'”. Analisando apenas os resultados dos casos simulados com as janelas fechadas, percebe-se que a compartimentação seletiva é capaz de promover benefícios para os ocupantes durante a evacuação, pois torna a redução da camada livre de fumaça menos intensa, além de estabilizá-la acima de 1,0m de altura. Percebe-se, contudo, pouca diferença nos resultados obtidos com diferentes combinações de aberturas na divisória e na laje, indicando a inexistência de um coeficiente de proporcionalidade entre os vãos disponíveis para a exaustão da fumaça e o acréscimo na altura da camada visível (Figura 3).

Figura 3: Gráfico com a sobreposição das curvas representativas da altura da camada livre de fumaça dos casos com as janelas fechadas.



Atentando para os casos simulados com as janelas abertas, a compartimentação seletiva apresentou um sutil incremento da altura da camada livre de fumaça em relação ao caso de referência ‘DIVplus\_open’ e, novamente, pouco sensível às diferentes combinações de abertura na divisória e na laje. Logo, é possível afirmar que a exaustão promovida pelas janelas foi preponderante nesses casos (Figura 4).

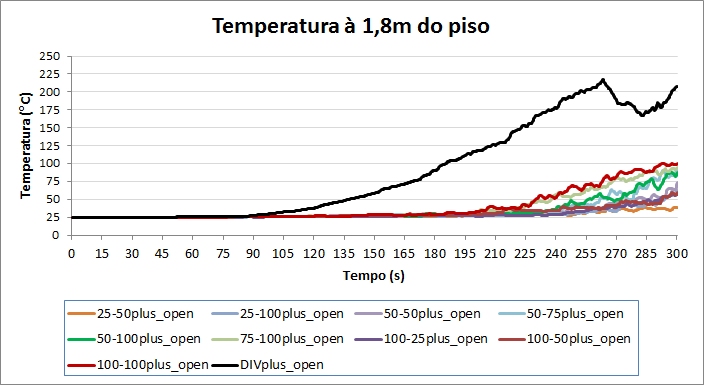
Figura 4: Sobreposição das curvas representativas da altura da camada livre de fumaça dos casos com as janelas abertas.



Temperatura na cota de 1,80 m

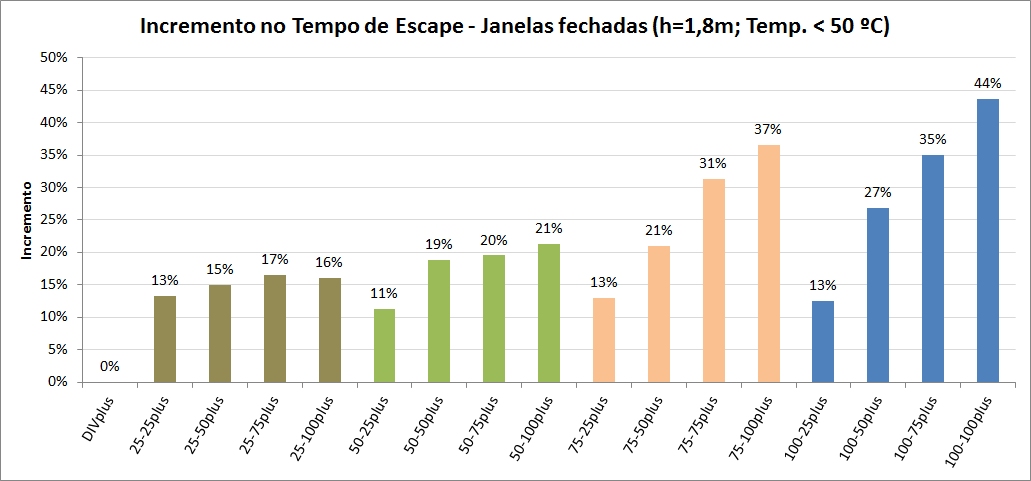
Observando apenas os casos com as janelas abertas, é notável o benefício proporcionado pela compartimentação seletiva, pois enquanto que no caso ‘DIVplus\_open’ a temperatura de 50 °C foi atingida aos 120 segundos, nos demais o mesmo valor foi atingido sempre após 240 segundos de simulação (Figura 5).

Figura 5: Gráfico com a sobreposição das curvas representativas da elevação temporal da temperatura na cota de 1,80m dos casos com as janelas abertas.



Nos casos simulados com as janelas fechadas o melhor resultado obtido com a implantação da compartimentação seletiva, com as maiores aberturas na divisória e na laje, foi um acréscimo de pouco mais de 40% no tempo de evacuação da sala em relação ao caso de referência ‘DIVplus’, caracterizado pela divisória simples. Nos demais casos, o incremento concentra-se na faixa dos 10% e 20%, com poucos casos acima de 30% (Figura 6).

Figura 6: Incremento no tempo de escape - Janelas fechadas [Temp.<50 ºC; h=1,80 m].



**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Uma das vantagens da compartimentação seletiva proposta é a capacidade de implementá-la na fase de ocupação, quando as possibilidades de atingir a compartimentação normativa são onerosas ou inexequíveis. Todavia, é notável a natural perda de área útil em função da largura do vão criado entre as divisórias. Logo, há de se ponderar a implantação da compartimentação seletiva quando há escassez de área diante do uso previsto.

Nos resultados obtidos observou-se que a compartimentação seletiva proposta foi capaz de promover maior altura da camada livre de fumaça nos casos simulados com as janelas fechadas, o que tende a tornar a evacuação mais segura. O mesmo benefício não ocorreu nos casos simulados com as janelas abertas. Destaca-se a redução da temperatura e o maior tempo para atingir o limiar da sobrevivência na cota representativa da altura de um individuo adulto. Todavia, considerando que uma fração significativa dos ambientes universitários é climatizada artificialmente, a atuação e eficácia da compartimentação seletiva dependem de um sistema de vedação das aberturas na divisória e na laje que seja capaz de liberá-las rapidamente em uma situação de incêndio.

Reconhece-se que as simulações realizadas apresentam limitações de ordem teórica e operacional, logo os resultados obtidos são específicos dos modelos e das condições de contorno adotadas. A extrapolação dos resultados para demais casos pode gerar conclusões equivocadas.

Por fim, a compartimentação horizontal seletiva proposta induz a uma quebra da compartimentação vertical, tendo em vista a necessidade de disposição de aberturas na laje para a exaustão da fumaça. Logo, o sistema proposto só se aplicaria a edificações térreas e que comportam baixa carga de incêndio. Em edificações com mais de um pavimento ou com elevada carga de incêndio o sistema proposto torna-se desinteressante em função da primazia da compartimentação vertical perante a horizontal na promoção da SCIE. Por fim, aspectos de ordem prática, tais como: uma solução de proteção contra a chuva para o vão disposto na laje e a necessidade de um sistema automático para a liberação da abertura na divisória, tornam a implantação da compartimentação seletiva pouco interessante comercialmente, principalmente diante da pouca expressividade dos benefícios proporcionados por ela.

**AGRADECIMENTOS**

Aos gestores e conselheiros da UFERSA, por terem aprovado o imprescindível afastamento funcional do autor desse trabalho para o desenvolvimento da pesquisa.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVES, Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves. **A questão do escape em edifícios altos:** A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – FAU/UNB. Brasília, 2010. 286 p.

COSTA, Carla Neves; ONO, Rosária; SILVA, Valdir Pignatta. **A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio.** In: Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2005, Recife/PE. 2005. (26p.) ISBN 85-98576-07-7.

PORANTIM, Maurício. **O Método hipotético-dedutivo**. Livre Pensamento, (internet) 2013. Disponível em: <http://livrepensamento.com/2013/10/01/o-metodo-hipotetico-dedutivo/>. Acesso em: 30 jun. 2015.

GISSI, Emanuele. **An introduction to Fire Simulation with FDS and Smokeview:** Updated to FDS 5.5.1 and BlenderFDS. 2010. 170 p. Disponível em: <https://sites.google.com/a/corbezzolo.org/pages/Home/download\_FSE/>. Acessado em: 17 ago. 2015.

LUCENA, Fábio de Oliveira. **Monografia**: Arte e técnica da construção. Editora Ciência Moderna Ldta. Rio de Janeiro, 2011. ISBN: 978-85-399-0085-5.

McGRATTAN, Kelvin, et al. **Fire Dynamics Simulator User’s Guide:** Sixth Edition. NIST Special Publication 1019: National Institute of Standards and Technology - NIST, Maryland (EUA), 2014.

MOUNT PENN FIRE COMPANY. **Flash Over Simulator**. Vídeo produzido por: Fire Fighters of the Mt Penn Volunteer Fire Co. Mount Penn/ Pensilvânia - EUA: 2013. 1. Internet. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=vfp9bGobW-I> . Acessado em: 2 jun. 2015.

ONO, Rosaria. **Aspectos do projeto arquitetônico relevantes para a segurança contra incêndio**. Material didático referente ao Mini-curso apresentado no 1º Congresso Ibero-Latino-Americano em Segurança Contra Incêndio – CILASCI, Natal/RN. 2011.

ROBBINS, A.P.; WADE, C. A.. **Soot Yield Values for Modelling Purposes:** *Residential Occupancies*. BRANZ Study Report 185. BRANZ Ltd, Porirua, New Zealand, 2007.

RUSCHEL, Fernanda. **Avaliação da utilização de ferramentas de simulação computacional para reconstituição de incêndios em edificações de concreto armado**: Aplicação ao caso Shopping Total em Porto Alegre - RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre/ RS, 2011.

SEITO, Alexandre Itiu (coord.), et al.. **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto editora, 2008. 496p. ISBN: 978-85-61295-00-4.

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situações de incêndio**. São Paulo: Zigurate Editora, 2004. ISBN 85-85570-04-0.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_. **Segurança contra incêndio em edifícios:** Considerações para o projeto de arquitetura. São Paulo: Blucher, 2014. ISBN 978-85-212-0775-7.