

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

C. Corrêa^{1,2*}, W. Martins^{1,2}, A. Castro², M. Lopes², B. Ferrari Junior³

*Autor de Contacto: cristianocorreacbmpe@gmail.com.br

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.807>

Recibido: 15/04/2025 | Correcciones recibidas: 07/07/2025 | Aceptado: 13/08/2025 | Publicado: 01/09/2025

RESUMEN

Este artículo describe un pronóstico de las condiciones de supervivencia de las víctimas de incendios en un dormitorio de un edificio residencial, utilizando el programa informático Fire Dynamics Simulator - FDS. A partir de una contextualización de las muertes causadas por incendios en el mundo y en Brasil, se puede ver que la gran mayoría de las muertes ocurren en entornos residenciales. Ante la brecha preventiva en estos ambientes, se analizaron las concentraciones letales de monóxido de carbono y dióxido de carbono, así como la temperatura máxima y la concentración mínima de oxígeno, y se estimó el tiempo máximo que los ocupantes de los dormitorios pasan en las cuatro posiciones de interés, considerando a las personas con dificultades de movilidad, verificando que el ambiente se vuelve letal en un máximo de 8 minutos después del inicio de las llamas, en los puestos estudiados.

Palabras clave: incendio en dormitorio; incendio residencial; investigación de incendios; supervivencia al fuego.

Citar como: Corrêa, C., Martins, W., Castro, A., Lopes, M., Ferrari Junior, B. (2025), "¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.", Revista ALCONPAT, 15 (3), pp. 384 – 412, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.807>

¹ Universidade Federal de Pernambuco – Pós-Graduação de Engenharia de Incêndio, Recife, Brasil.

² Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco - CBMPE, Recife, Brasil.

³ Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo - CBMES, Vitória, Brasil.

Contribución de cada autor

En este trabajo, el autor C. Corrêa contribuyó con la concepción de la investigación, redacción y revisión del texto, el autor W. Martins contribuyó con el desarrollo del código fuente y la simulación por computadora, el autor A. Castro contribuyó con la revisión de los trabajos en FDS en Brasil y en el mundo con interfaz en el objeto de esta investigación, el autor M. Lopes realizó la investigación bibliográfica de incendios con víctimas en el mundo, el autor B. Ferrari Junior fue el asesor de investigación y revisó los escritos.

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2025) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2026 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2026.

How long to life? The survival of people in fire of a residential bedroom using Fire Dynamics Simulator – FDS.

ABSTRACT

The paper provides a prognosis of the survival conditions of victims of a fire in a dormitory in a residential building, using the Fire Dynamics Simulator-FDS computer program. Based on a contextualization of deaths caused by fire in the world and in Brazil, most deaths occur in residential environments. Given the preventive gap in these environments, lethal concentrations of carbon monoxide and dioxide were analyzed, as well as the temperature and minimum oxygen concentration. The maximum time that occupants of the dormitory would remain in the four positions was estimated, considering people with mobility difficulties. It was found that the environment becomes lethal in a maximum of 8 minutes after the fire, in the positions studied.

Keywords: dormitory fire; residential fire; fire investigation; fire survival.

Quanto tempo de vida? A sobrevida de pessoas em incêndios em dormitório residencial, com o uso do Fire Dynamics Simulator- FDS.

RESUMO

Este artigo traça um prognóstico das condições de sobrevida de vítimas de incêndio num dormitório em edifício tipo residencial, através do programa computacional Fire Dynamics Simulator - FDS. A partir de uma contextualização sobre as mortes causadas por incêndio no mundo e no Brasil, vê-se que a grande maioria dos óbitos se dão em ambientes residenciais. Diante da lacuna preventiva nesses ambientes, analisou-se as concentrações letais de monóxido e dióxido de carbono, bem como temperatura máxima e concentração de oxigênio mínima e estimou-se tempo máximo que ocupantes do dormitório passam nas quatro posições de interesse, considerando pessoas com dificuldades de locomoção, verificando que o ambiente se torna letal em no máximo 8 minutos após o início das chamas, nas posições estudadas.

Palavras-chave: incêndio em dormitório; incêndio residencial; investigação de incêndios; sobrevida em incêndios.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios en edificaciones en Brasil, a pesar de su frecuencia, aún no son plenamente conocidos (Rodrigues *et al.*, 2017). Las edificaciones más susceptibles a estos siniestros, su ocupación, capacidad de resiliencia y, principalmente, capacidad de supervivencia en su interior, constituyen informaciones que todavía no están consolidadas en el país (Hahnemann *et al.*, 2017). No obstante, estudios recientes sobre incendios urbanos en algunas regiones de Brasil señalan una mayor predominancia en edificaciones residenciales (Corrêa *et al.*, 2015; Falcão, 2024).

Se destaca, además, en medio de las investigaciones desarrolladas en el país, que en ciertas regiones la gran mayoría de fallecimientos y lesiones graves provienen de incendios en residencias: multifamiliares y, principalmente, unifamiliares (Santos, Corrêa y Krüger, 2025; Menezes y Corrêa, 2022; Carneletto, Castro y Araújo, 2019; Santos, 2016), lo que deja en claro la importancia de estudiar este tipo de incendio con una mirada más acuciosa.

En lo que respecta a la supervivencia y la capacidad de resistencia a situaciones extremas, en ambientes donde se desprenden altas temperaturas y gases, resulta de suma importancia delinearlos como objeto de estudio y, de esta forma, desarrollar métodos que simulen tales condiciones extremas.

Es cierto que muchos estudios utilizan componentes estructurales sometidos a altas temperaturas, mediante el uso de hornos especiales y paneles radiantes, en la búsqueda de descifrar el comportamiento de estas estructuras en situación de incendio (Costa, Pires, Rêgo Silva, 2023; Vasconcelos, Pires, Rêgo Silva, 2024; Laim *et al.*, 2014), constituyéndose en investigaciones muy relevantes para la ingeniería de la construcción. Sin embargo, la interacción y la dinámica de los componentes de la carga-incendio (objetos que arden), el comportamiento de las ondas térmicas, el flujo y los efectos de los gases inflamables, imponen una mayor dificultad para ser simulados con precisión en hornos o laboratorios, siendo en ocasiones necesaria la construcción de experimentos específicos.

Los experimentos de incendios naturales a escala real siguen siendo eventos poco frecuentes en Brasil (Corrêa *et al.*, 2017; Braga *et al.*, 2021) y en América Latina, debido a los considerables riesgos y altos costos de las simulaciones.

Algunos estudios utilizan edificaciones que han sufrido incendios para, a través de los testimonios y el análisis del escenario, estimar el evento (Pignatta y Silva *et al.*, 2007; Silva Filho *et al.*, 2011; Henneman *et al.*, 2018; Braga, 2022). En estos casos, el monitoreo de la dinámica del incendio es perspectivo, recurriendo generalmente también a la simulación computacional.

Se pueden alcanzar resultados muy cercanos a la realidad con el uso de softwares de simulación, aplicando la *dinámica de fluidos computacional* (CFD), por ser más precisos que los cálculos de ingeniería hechos a mano, que no siempre logran traducir situaciones comunes e inesperadas en el proceso de interacción entre la dinámica del incendio y la toma de decisiones de los ocupantes del inmueble siniestrado, o explicando la falta de ellas. En muchas situaciones, estos softwares reproducen de forma idéntica los incendios (McGratran *et al.*, 2019).

Así, estudiar las condiciones de supervivencia de las víctimas en el ámbito de residencias incendiadas es algo preponderante, para mitigar las centenas de vidas perdidas anualmente en ocurrencias de esta naturaleza en Brasil (Corrêa, 2024a).

Los datos obtenidos en esta investigación, sumados a la ausencia de datos oficiales sobre el tema central del artículo, directamente relacionados con las variables involucradas, llaman la atención hacia nuevas discusiones e investigaciones sobre la producción de monóxido de carbono (principalmente), dióxido de carbono, bajos porcentajes de oxígeno y la elevación de la temperatura a niveles letales durante los incendios urbanos, ya que son los que presentan efectos más nocivos y mortales. El estudio presenta además datos importantes sobre qué posiciones y qué proximidad con las llamas y el humo traerían mayores consecuencias dañinas para la vida humana. Se destaca que el ambiente utilizado en la simulación fue un dormitorio (espacio con mayor incidencia del

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

foco inicial en siniestros residenciales en la Región Metropolitana de Recife - RMR), conteniendo el mobiliario, la estructura y las dimensiones estándar de un edificio modal, constatados en más de 1.000 incendios ocurridos en la ciudad de Recife durante un trienio (Corrêa, 2017). La idea central del artículo es la búsqueda de un tiempo de respuesta mínimo, satisfactorio para las acciones de protección y auxilio a las víctimas de incendios estructurales.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado se discuten, a través de la rememoración de trabajos técnicos y científicos, algunos de los fundamentos conceptuales que enmarcan la investigación, necesarios para la comprensión del estudio y sus resultados.

2.1 Modelos Computacionales e Incendios

De acuerdo con Kuligowski *et al.* (2010), los tres grupos básicos de modelos computacionales aplicados al estudio de víctimas en incendios varían según los datos que se ingresan al modelo, los cuales se destacan:

- Modelos de comportamiento: Que simulan las combinaciones de toma de decisiones y movimientos en rutas hacia un lugar seguro, así como la presencia de fuego y humo y situaciones de desmayos y fallecimientos. Ejemplos de estos modelos son los siguientes softwares: STEPS, BuildingEXODUS, Legion, MassMotion;
- Modelos de movimiento: Que simulan para una población homogénea el flujo y la velocidad de movimiento. Estos pueden ser útiles para demostrar áreas de congestión y cuellos de botella en los espacios del edificio. Se puede citar Wayout como ejemplo de software;
- Modelos de comportamiento parcial: En estos modelos se simulan movimientos y comportamientos predeterminados por variables como el tiempo de pre-evacuación, características individuales y cambio de posición entre los ocupantes. En esta categoría se encuentran los siguientes softwares: EXIT89, Simulex, Pathfinder, GridFlow.

2.2 Investigaciones de fluidodinámica computacional en incendios en Brasil

Con el uso de programas de software como FDS, PyronSim, SmartFire, entre otros, es posible recrear la dinámica de los gases calientes y el movimiento del humo en ambientes compartimentados, con costos reducidos.

En ese contexto y utilizando el guion trazado por Tabaczinski *et al.* (2017), se destacan algunos trabajos de simulación de escenarios de incendios en Brasil, con la ayuda de programas informáticos, más precisamente FDS, de los cuales se presentarán algunos a continuación.

Alves, Campos y Braga (2008), utilizando FDS y SIMULEX, que es otro programa de análisis fluidodinámico de gases, reprodujeron un edificio comercial y analizaron la influencia del humo en la evacuación de personas a través de las rutas de escape, que fueron dimensionadas según las normas del SCI. Así, comprobaron la importancia del uso de aplicaciones informáticas en la fase de diseño de las rutas de escape, así como en la proposición de soluciones de diseño y modificaciones en las normas vigentes que rigen el tema.

Braga y Landim (2008) realizaron una simulación en FDS de un incendio residencial en 2007 en la ciudad de Brasilia como parte de una investigación del incendio, con el objetivo de probar hipótesis sobre posibles lugares de origen. Con el estudio, concluyeron que los ambientes del edificio podrían haber alcanzado los 1.000°C, observaron características que coincidían con los registros fotográficos del lugar y resaltaron la importancia de la herramienta computacional en la investigación de siniestros de incendios.

Rodrigues (2009) simuló la compartimentación vertical en varias configuraciones de fachadas, aplicando la norma brasileña vigente sobre el tema, utilizando modelo reducido y simulación en FDS. El autor concluyó que la compartimentación externa funciona como un impedimento para la

propagación del fuego en la fachada y que el uso de la simulación computacional ofrece aproximaciones muy consistentes con la realidad, lo que la convierte en una poderosa herramienta para el diseño y perfeccionamiento de las protecciones pasivas.

Ruschel (2011) simuló en PyroSim y FDS un incendio en un centro comercial de Porto Alegre en 2007. A partir de la recolección de muestras del siniestro y someterlas a pruebas, y con la calibración del modelo, la autora pudo variar los posibles escenarios del incendio, incluyendo la adición de dispositivos preventivos como rociadores automáticos. En este caso, la simulación ayudó a comprender el comportamiento del fuego en el ambiente de diferentes maneras.

Fontenelle (2012) estudió la propagación del incendio en tanques industriales, sometidos o no a la incidencia de vientos y provistos o no de sistemas de combate a incendios tipo diluvio, en FDS. A partir de una simulación computacional de un parque de tanques hipotético, la autora estudió los efectos del incendio de uno de los tanques, lleno de etanol, en los demás tanques distanciados de acuerdo con la norma. La autora concluyó a través de las observaciones que los parámetros previstos en las normas no impiden la propagación del incendio en los tanques vecinos.

Carvalho (2013) simuló los efectos de la ventilación forzada en un incendio de un vehículo en un túnel similar al túnel Rebouças, en la ciudad de Río de Janeiro. Utilizando FDS, el autor evaluó la temperatura, la concentración de gases y el flujo de calor en el túnel, concluyendo que la existencia de un sistema de ventilación forzada es favorable para los usuarios en cuanto a temperatura y flujo de calor y desfavorable con respecto a la presencia de humo.

Brunetto (2015) estudió la dinámica de la temperatura, el flujo de calor y la temperatura de los gases en un edificio de enseñanza superior a través de simulación computacional PyroSim y FDS. En este estudio se pudo observar la interferencia de la ventilación libre por las fachadas en la propagación de las llamas y, consecuentemente, cómo esto interfiere en la evacuación a través de la escalera de emergencia. La simulación pudo presentar una solución para la implementación de sistemas preventivos.

Mazzoni y Klein (2015) simularon, en un ambiente computacional utilizando Autocad 3D, PyroSim y FDS, un incendio en un edificio en la ciudad de Porto Alegre, con el fin de analizar posibles causas del siniestro planteadas por la pericia. Con el estudio, los autores analizaron los resultados como coherentes con los daños reales causados y constataron que la protección pasiva evitó la propagación de las llamas, confirmando los datos recogidos por la pericia en el lugar.

Cunha (2016) estudió configuraciones de compartimentación horizontal de un aula de un edificio en FDS y los impactos en la mejora de la seguridad contra incendios. El autor observó que las aberturas más grandes para la extracción aumentarían el tiempo para que el humo llenara todo el ambiente, mejorando el tiempo de supervivencia en las evacuaciones de los lugares siniestrados.

Carlos *et al.* (2016) estudiaron el control de humo en un edificio parametrizado por normas europeas y el tiempo de evacuación de esta edificación, utilizando el método de cálculo de Nelson y MacLennan (1995), con el fin de analizar las condiciones de escape de las personas del ambiente frente a altas temperaturas, visibilidad y gases provenientes de los productos de la combustión. Los autores concluyen constatando la importancia del control de humo y la ausencia de información sobre los índices de proyectos para el control de humo en las normas europeas.

Mariani y Carlos (2017) simularon en FDS y Evac una edificación de tipo restaurante de dos plantas y la eficacia de la aplicación de parámetros constantes en las normas brasileñas y portuguesas en lo que respecta a las salidas de emergencia. Los autores utilizaron el método de Nelson y MacLennan (1995) para determinar el tiempo de evacuación y verificaron la influencia de la temperatura y la capa de humo relacionada con esta evacuación. Los autores concluyen que la simple observación de la norma aplicada al tema de la evacuación, como las salidas de emergencia y la cantidad de unidades de paso, no impide la ocurrencia de posibles muertes.

Matos (2017) analizó en FDS el flujo másico entre compartimentos conjugados de un edificio residencial interconectados por varios escenarios de aberturas, y comparó los resultados obtenidos con valores experimentales y analíticos. El autor concluyó que hay una buena representatividad de

los resultados obtenidos con los datos experimentales recogidos.

Se añade a los trabajos diseccionados por Tabaczinski y coautores (2017), el importante estudio investigativo, en el que Cunha, Lugon y Bona (2018) utilizaron FDS para evaluar una hipótesis de incendio-exposición en la ciudad de Vila Velha – ES. Los autores simularon la fuga de Gas Licuado de Petróleo (Propano y Butano) en el escenario siniestrado, y a través del tiempo promedio medido en la investigación, verificaron que la compatibilidad de la concentración de gas y el uso del interruptor pudieron haber sido la causa inicial del fatídico evento (Cunha, Lugon y Bona, 2018).

2.3 Muertes en Incendios

En Brasil no existen estadísticas emitidas por los organismos oficiales de Seguridad que indiquen cuántas personas sufren lesiones o pierden la vida en el país a consecuencia de incendios (Corrêa, Duarte, Braga, 2018).

Así, dentro de los estudios disponibles, destacan algunos como el presentado en 2015 por el Instituto Sprinkler Brasil, basado en el cruce de informaciones del Sistema Único de Salud (SUS) y la Secretaría Nacional de Seguridad Pública (SENASP), que reveló 1.051 muertes por contacto directo con temperatura y gases o como consecuencia de estos durante los incendios ocurridos en Brasil en el período de 2009 a 2011.

Otro estudio publicado por Corrêa (2024b) mostró que las muertes en Brasil, provocadas directamente por incendios o por sus consecuencias, revelan la alarmante cantidad de más de **dos mil setecientos fallecimientos** en un trienio (2017-2019).

Según el mismo estudio, distribuyendo los 737.199 casos de incendios ocurridos entre los años 2017 y 2019, se tiene un promedio diario de 682 incendios, distribuidos entre los 26 estados de la Federación y el Distrito Federal. Basándose también en este estudio, se observa que en los diez estados con mayor población (São Paulo, Minas Gerais, Río de Janeiro, Paraná, Bahía, Río Grande do Sul, Pará, Ceará, Santa Catarina y Pernambuco), ocurrieron 2.165 muertes por incendios en el período, con un promedio diario de 1,97 fallecimientos, para el período estudiado (Corrêa, 2024b). En cuanto a las especificidades de los incendios que causan muertes y heridos en Brasil, hay algunos estudios regionales que merecen destaque:

Santos (2024), al estudiar los incendios con víctimas en Belo Horizonte, afirma:

Se identificaron 1.371 ocurrencias de incendios en edificaciones, de las cuales el 62,14% (852) ocurrieron **en viviendas unifamiliares o multifamiliares**. En **133 ocurrencias se registraron víctimas muertas o heridas**, totalizando **166 víctimas**, siendo 8 de ellas fatales. En el 53% de las ocurrencias las víctimas eran del sexo masculino. Respecto a los grupos etarios, se observó que los adultos de 20 a 60 años corresponden al 72,89% (121) de los casos, mientras que los ancianos mayores de 60 años representan el 24,09% (40) y los niños hasta 10 años solo el 0,6% (1). La distribución de los registros a lo largo del año mostró que los meses de abril, julio y septiembre representaron el 35,3% (47) de las ocurrencias, mientras que febrero, agosto y diciembre solo el 15,03% (20). Durante la semana se notó cierta tendencia al aumento del número de registros cuando se acerca el fin de semana (sábado y domingo), que corresponde al 40% de los registros. A lo largo del día se identificaron horarios críticos, como de 2 a 3 de la mañana y de 23 a 00 horas. Se observó también cierta concentración de incendios con víctimas entre las 21:00 y las 6:00 horas, lo que correspondió al 45,9% (61) de los eventos.

Carnieletto, Castro y Araújo (2019), al estudiar una década de incendios en Paraná, reportan que entre 2005 y 2016 se registraron 2.168 eventos, específicamente en edificaciones residenciales de planta baja. Haciendo una alerta importante sobre los fallecimientos ocurridos en este tipo de siniestros (incendio en edificación residencial):

Al observar los porcentajes de fallecimientos en edificaciones, como en la figura 4, las residenciales de planta baja oscilan entre el 75% en 2015 y el 100% en 2010, obteniendo **un promedio aproximado del 87%**, lo que representa un porcentaje elevado cuando se observa solo un grupo separado de ocurrencias. (Carnieletto, Castro y Araújo, p. 98)

Por otro lado, Santos (2016), al defender el uso de detectores de incendios en edificaciones residenciales, afirma:

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

Aunque el 7% de los incendios ocurren en viviendas unifamiliares, estos ocasionan el 80% de las muertes. Estas edificaciones no cuentan con normas o legislaciones nacionales que regulen sistemas específicos de protección contra incendios (Santos, 2016, p. 262).

Estas afirmaciones se basan en el trienio 2012-14, teniendo como objeto el Estado de São Paulo (Santos, 2016).

Menezes y Corrêa (2022), al estudiar los incendios con víctimas en la Región Metropolitana de Recife en el período 2013-16, señalan:

Los incendios en viviendas representan 1/3 de todos los incendios registrados en la Región Metropolitana de Recife y destacan por ser los protagonistas en causar muertes y heridos. Como factor catalizador, se destaca la ausencia de sistemas preventivos en edificios unifamiliares, que según los datos recogidos en esta investigación representaron **el 94% de los incendios que causaron muertes y el 88% de los que causaron heridas en las víctimas** (Menezes y Corrêa, 2022, p. 1506).

Las muertes y lesiones derivadas de incendios en edificaciones residenciales no son un problema exclusivo de Brasil; en otras partes del mundo también representan un grave problema. A continuación, se presentan algunos ejemplos para ilustrar esta afirmación.

El estudio publicado por Xiong *et al.* (2022), que analizó las características de los incendios urbanos en el período de 1999 a 2019 en China, con el objetivo de trazar un patrón estadístico que pudiera explicar causas, efectos y daños, utilizando como principal fuente de información el *FireStatisticsYearbook*, publicado por el Cuerpo de Bomberos del Ministerio de Seguridad Pública de China, se usa en esta perspectiva.

Los datos estadísticos fueron recogidos solo en las provincias que conforman la República Popular de China, excluyendo los grandes centros poblacionales de Hong Kong, Macao y Taiwán, y contando únicamente los siniestros que causaron daños personales (Xiong *et al.*, 2022). Se observa que el análisis estadístico chino seleccionó cuatro indicadores para medir la gravedad de los incendios: 1. Cantidad de incendios; 2. Cantidad de muertes por incendio; 3. Cantidad de heridos; y 4. Daños patrimoniales; Describiendo una frecuencia estándar para las dos décadas analizadas (Xiong *et al.*, 2022).

También se observó que la intensidad y la gravedad de los incendios aumentaron debido a la evolución de los elementos constructivos y recubrimientos utilizados, sin embargo, el número de muertes y heridos disminuyó considerablemente en comparación con los datos del siglo XX, donde los números eran mucho mayores. Finalmente, el estudio chino indica que gran parte de las víctimas que pierden la vida o sufren lesiones por incendio durante el período estudiado estaban en edificaciones residenciales.

Analizando también el estudio de Bispo *et al.* (2023), titulado: “*Uma década de incêndios urbanos: acontecimentos portugueses entre 2013 e 2022*”, con información recogida del banco de datos del Sistema de Gestión de Operaciones del Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil (SGO), donde se almacenan los datos en el Sistema de Apoyo a la Decisión Operativa (SADO), que registra desde la alerta telefónica del número nacional de emergencias 112, se recolectaron 72.241 ocurrencias de incendios en áreas urbanas (Bispo *et al.*, 2023). El estudio portugués presentó variables que definieron: 1. Cantidad de incendios; 2. Región (distrito) de origen; 3. Cantidad de víctimas adultas; 4. Cantidad de víctimas infantiles; y 5. Distinción por sexo entre ellas.

También se constató en este estudio que el **73% de los siniestros** ocurrió en **estructuras residenciales**, lo que explica el gran número de víctimas afectadas, definiendo así un patrón para las ocurrencias de esta naturaleza, siendo los distritos con mayores índices Lisboa y Porto con 18% y 16% respectivamente de los siniestros registrados (Bispo *et al.*, 2023).

Se destaca que estos dos casos (China y Portugal) se presentan solo para caracterizar que, incluso en escenarios y culturas tan diferentes, los incendios en edificios residenciales, incluyendo la mitigación de víctimas, son un fenómeno que debe ser enfrentado.

2.4 Los efectos nocivos para el ser humano ante la concentración de gases y la exposición al calor

Según lo dispuesto en la Tabla 1, se observan las consecuencias de la exposición a diferentes concentraciones de gases (O₂, CO₂, CO) para los seres humanos, destacando sus efectos fisiológicos.

Para la primera parte de la Tabla 1, se tienen los valores de exposición definidos por la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), la *American Conference of Governmental and Industrial Hygienists* (ACGIH) y el *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), que son entidades americanas que desarrollan directrices, recomendaciones, normativas y discuten, en suma, temas sobre sustancias químicas y la salud y seguridad en el trabajo (OSHA, 2002; ACGIH, 1999; NIOSH, 1997).

En relación con los efectos térmicos para el cuerpo humano, se tomó como referencia la base de datos de la *National Fire Protection Association* (NFPA), que es una organización internacional dedicada a estudios sobre incendios y seguridad (NFPA, 2006). El extracto también se puede encontrar en la Tabla 1.

Tabla 1. Efectos fisiológicos por exposición a CO₂, O₂, CO y temperatura.

Parámetros/ Gases	CO ₂ (ppm)	O ₂ (% vol)	CO (ppm)	TEMPERATURA (NFPA, en °C)
Efectos en el cuerpo humano	10.000 Somnolencia	<19,5 Ocurren algunos efectos fisiológicos adversos, pero pueden no ser perceptibles.	400 Dolor de cabeza; fatiga; mareo y náuseas en 1 a 2 horas. Inconsciencia en 2 horas. Fatal poco después de este período.	< 60 Malestar inicial, con calentamiento de las vías respiratorias superiores.
	15.000 Dificultad respiratoria leve.	15 a 19 Pensamiento y atención perjudicados; aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria; coordinación reducida; capacidad de trabajo reducida; rendimiento físico e intelectual reducidos.	800 Síntomas mencionados en 20 minutos. Fatal en 1 hora.	60 a 100 Quemadura de 1 ^{er} grado, edema de las vías respiratorias superiores, pudiendo generar obstrucción respiratoria.
	30.000 Dificultad respiratoria moderada; aumento de la frecuencia cardíaca; aumento de la presión arterial.	12 a 15 Capacidad de juicio reducida; coordinación motora deteriorada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	1.600 Síntomas mencionados en 5 a 10 minutos. Fatal en 25 a 30 minutos.	100 a 150 Quemaduras de 2 ^o grado ocurren en pocos segundos; deshidratación e hipertermia.
	50.000 Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	10 a 12 Capacidad de juicio y coordinación muy deterioradas; respiración deteriorada, pudiendo causar daños cardíacos permanentes; posibilidad de desmayo en pocos minutos; náuseas y vómitos.	3200 Fatal en 10 a 15 minutos.	150 a 200 Quemaduras de 3 ^{er} grado; daños pulmonares irreversibles; pérdida de conciencia en segundos.

	80.000 Visión borrosa; sudor; temblor; inconsciencia, posible muerte.	<10 Incapacidad de locomoción; desmayo casi inmediato; pérdida de conciencia; convulsiones; muerte.	-	> 200°C Condiciones fatales casi inmediatas.
--	--	--	---	--

Fuente: Adaptado de OSHA, 2002; ACGIH, 1999; NIOSH, 1997 e NFPA, 2006.

3. METODOLOGÍA

La metodología de la investigación consiste en proponer parámetros de termicidad y toxicidad (concentraciones de CO, CO₂ y O₂) para estimar la supervivencia en incendios en habitaciones de residencias, o de otra forma, identificar las liberaciones térmicas y toxicidades letales en estos mismos ambientes.

Para ello, se observó un experimento controlado a escala real, en una habitación de un ‘edificio modal’ (Corrêa *et al.*, 2018) de la Región Metropolitana de Recife, trazando pronósticos con la ayuda del programa de fluidodinámica computacional denominado FDS (*Fire Dynamics Simulator*) sobre el tiempo de supervivencia de una víctima ubicada en diferentes puntos de la habitación, teniendo como factores a ser observados en el transcurso del tiempo los valores de termicidad y toxicidad letales para el ser humano.

Tabla 2. Cálculo del área del edificio residencial modal– Incendios en Recife (2011).

Área en m ²	Cant. Incendios	Porcentaje del Total	Área Promedio en m ²	Factor Porcentual	Promedio Ponderado en m ²
Hasta 25	06	8,96%	12,5	0,0896	1,12
26 a 50	20	29,85%	38	0,2985	11,34
51 a 75	15	22,39%	68	0,2239	15,23
76 a 100	11	16,42%	88	0,1642	14,45
101 a 150	9	13,43%	125,5	0,1343	16,85
151 a 200	2	2,98%	175,5	0,0298	5,23
201 a 300	1	1,48%	250,5	0,0148	3,73
301 a 400	0	-	350,5	0	0
401 a 500	0	-	450,5	0	0
501 a 650	0	-	575,5	0	0
Más de 650	3	4,48%	650	0,0448	29,12
Totais	67	100%	-	1,0000	97,07

Fuente: Extraído de Corrêa *et al.*, 2018.

Según Dornelas y Corrêa (2025), la edificación modal tiene un piso que contiene 3 habitaciones, 1 de ellas suite, sala, cocina y área de servicio, y está construida con elementos de albañilería.

Para definir la carga de incendio estándar, se realizó una ponderación relacionada con los objetos afectados en los incendios estructurales en el período de 2011-2013, que incluyó: 1 mesa de madera; 1 litera de madera; 5 camas de madera; 3 armarios de madera; 3 roperos de madera/aglomerado; 7 colchones; 1 estantería de madera; 8 sillas de madera; 1 silla de plástico; 3 televisores; 1 DVD; 4 ventiladores; 1 aire acondicionado; 2 computadoras; 1 lavadora; 1 estufa; 1 refrigerador; 2 cilindros de GLP; 1 microondas; 2 cajas de bebidas; 5 botellas de bebidas alcohólicas y 2 sofás de espuma. Estos objetos, debidamente estimados (masa y composición), proporcionan una carga de incendio aproximada de 21,286.54 KJ (Dornelas y Corrêa, 2025).

Una vez trazado el perfil constructivo, geométrico y el potencial calorífico de sus componentes, se

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

reprodujo a escala real una de las habitaciones de dicha edificación modal, en uno de los cuartos del taller de combate de incendios estructurales, la casa de fuego, según la Figura 1 a continuación:



Figura 1. Ilustraciones del ambiente probado y distribución de los termopares.

Fuente: Adaptado de Corrêa et al., 2017.

La dinámica del experimento consistió en colocar una fuente de ignición debajo de la litera, lo que provocó un incendio en el mueble que progresó hacia los muebles vecinos. Inicialmente, el fuego se propagó bajo el efecto de la ventilación de la ventana de la habitación y, después de 18 minutos, la puerta de la habitación, que inicialmente estaba cerrada, se abrió con la intención de prolongar las llamas a través de la ventilación cruzada. Se distribuyeron termopares a lo largo de la habitación para medir la temperatura en lugares y alturas predeterminados, relacionados con las posiciones de interés del autor, como las alturas de puntos importantes en una posible víctima, como la cabeza, las vías respiratorias, el pecho y las rodillas.

La estrategia de colocación de termopares se basó en las diferentes posiciones en las que las víctimas podrían estar en el escenario elegido, seleccionando: acostada en las tres camas disponibles o de pie en el centro del dormitorio. La altura de este termopar de mediciones de gases en específico, fue elegida dentro del rango de alturas promedio de los brasileños (1.60 a 1.73 m), considerando, sin embargo, no la altura máxima efectiva, sino la posición de las vías aéreas superiores (nariz).

Tabaczinski (2018) construyó una simulación numérica, con algunas calibraciones, de este experimento, utilizando el software *Fire Dynamics Simulator*. La autora, además, puso a disposición el código fuente utilizado en su trabajo, el cual pasó por las siguientes modificaciones para la investigación que se presenta, con el objetivo de alcanzar los objetivos propuestos por este trabajo, se incluyeron:

- Adición de dispositivos de lectura de CO, CO₂ y O₂ inmediatamente sobre cada una de las tres camas, configurando posiciones aproximadas de personas acostadas sobre ellas.
- Adición de dispositivos de lectura de temperatura inmediatamente sobre cada una de las tres camas, configurando posiciones aproximadas de personas acostadas sobre ellas.
- Adición de dispositivos de lectura de CO, CO₂ y O₂ y temperatura a una altura de 1.60 m, en el centro de la habitación, configurando la altura promedio de una persona de pie en el ambiente.

Se destaca que la investigación que se presenta aporta una contribución original y relevante, pues a pesar de que el experimento (Corrêa et al., 2017) y la simulación computacional (Tabaczinski et al., 2018) están bien documentados, en ningún momento los estudios anteriores se detienen en la cuestión de la supervivencia de las personas en estos ambientes, tan típica de los incendios en Brasil.

En esta simulación, se observan 4 escenarios a partir de los datos ya obtenidos en ensayos a escala real y en trabajos de parametrización computacional, a saber: ¿Cuál es la supervivencia de una

víctima en el centro de la habitación? (Caso 1); Tiempo estimado de supervivencia de una víctima sobre la cama (Caso 2); El tiempo de supervivencia de una víctima sobre la cama en la que se inicia el incendio (Caso 3); y la supervivencia (tiempo estimado) de una víctima que se encuentra en la cama superior de la litera (Caso 4).

También se destaca que las víctimas con dificultades de locomoción (niños pequeños, ancianos, personas con discapacidad) y bajo el uso de alcohol y otras drogas son una porción significativa de las muertes en incendios (Santos, Corrêa y Krüger, 2024). La representación de las respectivas posiciones de las víctimas (Figura 2):

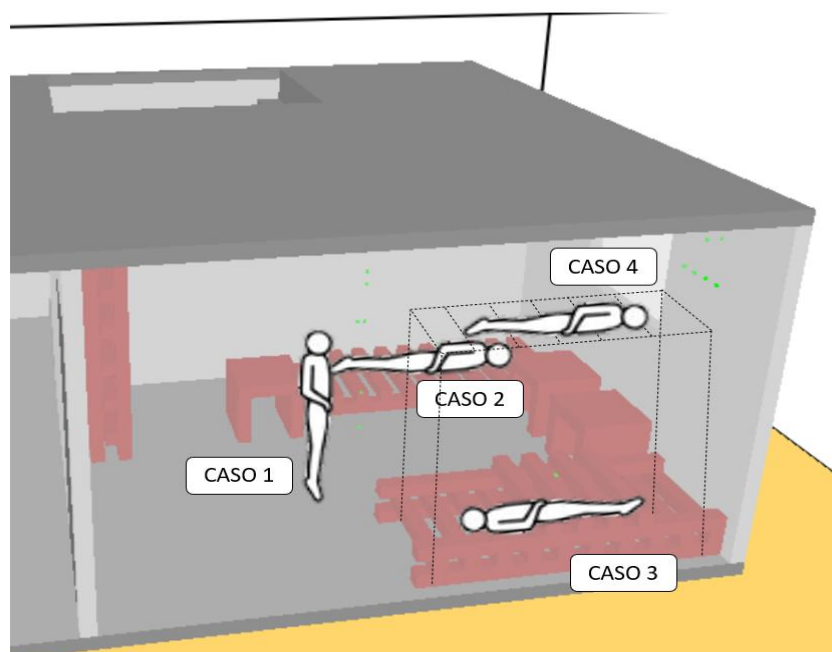


Figura 2. Esquema ilustrativo de las víctimas en el escenario del incendio.

Se estima que esta investigación se erige como una perspectiva importante para la Investigación de Incendios, al respaldar (a través de datos en la literatura) y aplicar el ejercicio de simulación computacional en incendios, con el fin de establecer la supervivencia de personas con dificultades o imposibilidad de locomoción.

4. RESULTADOS

El ambiente de simulación computacional de fluidodinámica para escenarios de situación en incendio fue desarrollado en el *Fire Dynamics Simulation* (FDS), versión 6.9.1, disponible por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2022). La interfaz gráfica generada fue construida a través del software *Smokeview* (SMV), versión 6.9.1, proveniente del mismo desarrollador.

El código tomado como base en esta investigación fue modificado a partir del código presente en Sá (2018), **que simuló el incendio sin presencia de víctimas**. En esta exposición, se hicieron consideraciones sobre las condiciones ambientales, propiedades térmicas y de combustión de materiales, gas combustible utilizado, entre otras, permitiendo valores más cercanos a la escala real en el uso del FDS. Según la misma autora (Sá, 2018), se siguió una modelización computacional de un escenario real de incendio, denominado “edificación modal”, conforme a la definición presente en Corrêa *et al.* (2015). Proponiendo entonces, la modelización computacional en el FDS, con el objetivo de “reproducir de la mejor forma posible el ensayo experimental realizado por Corrêa *et al.* (2017)” (Sá, 2018). La validación en este sentido fue, por lo tanto, efectiva.

El código fuente original, para la generación del escenario considerado, fue obtenido a través de una investigación realizada por Sá (2018). Debido a la diferencia de versiones existentes del *software* FDS, fue necesaria la compatibilización del código, haciéndolo apropiado para la actualidad.

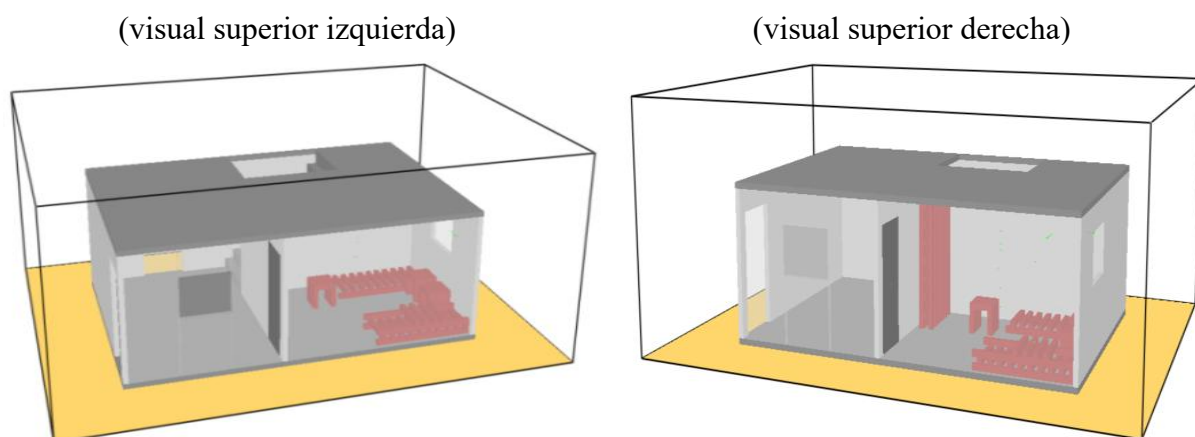
Para la ejecución de los escenarios previamente definidos en este presente trabajo, también se añadieron dispositivos de lectura de los datos de O₂, CO₂, CO y temperatura en puntos específicos, los cuales se discutirán a continuación.

Por último, el nuevo código fuente para FDS está en el **Apéndice 2**, así como los *frames* principales de la simulación están en el **Apéndice 1**.

4.1 El ambiente gráfico de simulación

El ambiente de simulación generado por el SMV está presente en las Figuras 3 y 4, conforme a la descripción realizada en el tema de metodología.

Se destaca que, con fines de simplificación del modelo computacional, se consideró la litera como una superposición de estructura (cama superior inmediatamente sobre la cama inferior), observando la carga de incendio compatible.



Figuras 3 y 4. Escenario usado para simulación de incendio

Fuente: Datos de Investigación, 2025.

4.2 Caso 01 – Víctima en el centro del ambiente a 1,60 metro

Para una víctima ubicada en el centro del ambiente en cuestión, considerando la altura de las vías aéreas a partir del piso (1,60 m), se obtuvieron, a través de los dispositivos de lectura, la concentración de gases y la temperatura, siendo expuestos a lo largo del tiempo, conforme a la Tabla 3 siguiente.

En el primer minuto de simulación (Tabla 3), la víctima, estando en este ambiente, ya percibirá la acción del calor, la cual causará los primeros efectos térmicos en su piel, con quemaduras de 1^{er} grado, así como las primeras dificultades en relación con la respiración. Las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O₂) estarán aumentando, pero aún estarán a niveles por debajo de los principales efectos fisiológicos considerados en la Tabla 1. Es importante destacar que los datos de los tres gases medidos en la simulación del FDS fueron compatibles (similares), particularmente a 1,60 m (víctima en el centro del dormitorio), con los verificados experimentalmente por Braga y autores (2021). En dicho experimento con mobiliario nacional, y ambiente igualmente ventilado (puerta un poco abierta), dimensiones semejantes, los gases recogidos y luego analizados en laboratorio, muestran cantidades que guardan semejanzas con la simulación computacional.

Se espera, para una víctima en esa situación, que ella, por el propio instinto de supervivencia, se agache y busque la salida más cercana, principalmente si ella está acostumbrada a esa residencia.

Bienes o personas a proteger pueden modificar ese comportamiento, así como los intentos de extinguir el incendio en su fase inicial, aumentando su tiempo en el ambiente de siniestro.

Otros factores a considerar son: la capacidad de esa víctima de movilizarse, o, aún, las dificultades acerca de bloqueo en la puerta de acceso. En este caso, permaneciendo la víctima más tiempo, de pie, ya se observarán dificultades respiratorias, las cuales podrán llevarla a confusión mental y mareo, por ejemplo. En 3 minutos el escenario será ese, permaneciendo semejante hasta los 5 minutos, con agravamientos fisiológicos en casi 9 minutos (Tabla 3).

Una hipótesis de comportamiento para esa víctima, por lo tanto, sería la búsqueda consciente de áreas más ventiladas del ambiente, o, aún, la posibilidad de desmayo, seguido por caída entre niveles, como señalado en la Tabla 3, por la disminución de oxígeno disponible.

Tabla 3. Víctima en el centro del ambiente a 1,60 metro.

Parámetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura (°C)
T _{simulación} 1min	5.898	21	19,6	72,5
Efectos	-	-	-	Quemaduras de 1º grado, edema de las vías aéreas superiores, pudiendo generar obstrucción respiratoria.
T _{simulación} 3min	53.889	203	13,7	212,7
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio reducida; coordinación motora afectada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	Condiciones fatales casi inmediatas.
T _{simulación} 5min	64.381	243	12,4	241,7
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio reducida; coordinación motora afectada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	Condiciones fatales casi inmediatas.
Fin de la simulación (525s o 8min45s)	71.431	269	11,5	266,9
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio y coordinación muy afectadas; respiración afectada, pudiendo causar daños cardíacos permanentes; posibilidad de desmayo en pocos minutos; náuseas y vómitos.	Condiciones fatales casi inmediatas.

Fuente: Resultados de la investigación, 2025.

Se evidencia que, cerca de los 9 minutos, a una altura próxima a 30 cm del suelo, se observaron temperaturas superiores a los 150°C, las cuales continuarán agravando las quemaduras a 3^{er} grado, favoreciendo, entre otros efectos, la pérdida de conciencia e inmovilidad (Tabla 1).

4.3 Caso 02 – Víctima acostada en la cama individual

Para una víctima ubicada en la cama individual, aislada y más distante del foco inicial, en el primer minuto no habrá efectos fisiológicos tan graves (cf. Tabla 4). Las personas con menor sensibilidad, o que estén dormidas, podrían incluso no percibir el siniestro hasta ese momento.

Tabla 4. Víctima acostada en la cama individual.

Parámetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura (°C)
T _{simulación} 1 min	1.974	6	20,1	42,0
Efectos	-	-	-	Incomodidad inicial, con calentamiento de las vías respiratorias superiores.
T _{simulación} 3 min	30.596	115	16,5	124,8
Efectos	Dificultad respiratoria moderada; aumento de la frecuencia cardíaca; aumento de la presión arterial.	-	Pensamiento y atención perjudicados; aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria; coordinación reducida; capacidad de trabajo reducida; rendimiento físico e intelectual reducidos.	Quemaduras de 2° grado ocurren en pocos segundos; deshidratación e hipertermia.
T _{simulación} 5 min	36.413	137	15,8	130,5
Efectos	Dificultad respiratoria moderada; aumento de la frecuencia cardíaca; aumento de la presión arterial.	-	Pensamiento y atención perjudicados; aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria; coordinación reducida; capacidad de trabajo reducida; rendimiento físico e intelectual reducidos.	Quemaduras de 2° grado ocurren en pocos segundos; deshidratación e hipertermia.
Fin de la simulación (525 s o 8 min 45 s)	48.108	181	14,4	181,6
Efectos	Dificultad respiratoria moderada; aumento de la frecuencia cardíaca; aumento de la presión arterial.	-	Capacidad de juicio reducida; coordinación motora afectada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	Quemaduras de 3 ^{er} grado; daños pulmonares irreversibles; pérdida de conciencia en segundos.

Fuente: Resultados de la investigación, 2025.

En la Tabla 4, se percibe el aumento de la concentración de dióxido y monóxido de carbono, con una reducción del oxígeno disponible, como es de esperarse en una combustión, lo que contribuye a un mayor malestar para esta víctima. A los 5 minutos, la víctima estará vulnerable a quemaduras de 2º grado.

Considerando a un adulto saludable en esta posición, se espera un comportamiento similar al del Caso 1, en el mismo tiempo, cuando la víctima entiende que está envuelta en un ambiente de incendio y buscará la salida agachada, alejándose de las temperaturas más altas. Sin embargo, es importante destacar que una víctima que estaba dormida, incluso si está sana, podría naturalmente tener dificultades iniciales para discernir lo que está sucediendo y cómo debe actuar para sobrevivir. Esto podría deberse a la disminución de oxígeno mientras aún duerme, lo que reducirá su atención y lucidez (Tabla 4); o por otros factores, como la presencia de humo que reducirá la visibilidad del ambiente; la distancia a la puerta de acceso; entre otros.

Si la víctima permanece encima de la cama, lo que puede suceder por los motivos ya mencionados, o si tiene alguna restricción que le impida salir de la habitación, a los 8 minutos y 45 segundos su conciencia se verá comprometida, volviéndose vulnerable a quemaduras de 3º grado (Tabla 4).

Si no se hace nada, esta víctima perderá la vida más rápidamente que en el primer caso (víctima inconsciente, en aproximadamente 9 minutos), ocurriendo su muerte en los primeros minutos. Los efectos térmicos y los relacionados con la concentración de gases son más severos que los observados en víctimas cercanas al suelo.

4.4 Caso 03 – Víctima acostada en la litera (cama inferior)

La víctima situada en el Caso 3 es la más cercana al foco inicial del incendio. Considerando esto, sufrirá los daños del incendio de manera más intensa ya en los primeros segundos, conforme a la Tabla 5 siguiente.

Tabla 5. Víctima acostada en la litera (cama inferior).

Parámetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura (°C)
T _{simulación} 1min	21.959	82	17,5	272,2
Efectos	Dificultad respiratoria leve.	-	Pensamiento y atención perjudicados; aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria; coordinación reducida; capacidad de trabajo reducida; rendimiento físico e intelectual reducidos.	Condiciones fatales casi inmediatas.
T _{simulación} 3 min	44.045	166	14,7	299,1
Efectos	Dificultad respiratoria moderada; aumento de la frecuencia cardíaca; aumento de la presión arterial.	-	Capacidad de juicio reducida; coordinación motora afectada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	Condiciones fatales casi inmediatas.
T _{simulación} 5 min	55.637	209	13,2	365,5
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio reducida; coordinación motora afectada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	Condiciones fatales casi inmediatas.
Fin de la simulación (525 s o	78.696	297	10,3	639,1

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

8min45s)				
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio y coordinación muy afectadas; respiración afectada, pudiendo causar daños cardíacos permanentes; posibilidad de desmayo en pocos minutos; náuseas y vómitos.	Condiciones fatales casi inmediatas.

Fuente: Resultados de la investigación, 2025.

El efecto térmico será probablemente el primer factor que la alertará sobre la presencia de llamas, ya que rápidamente se alcanzan temperaturas que son propicias para quemaduras de 3^{er} grado y fatales. La dificultad respiratoria ya se observa en este momento, agravándose rápidamente hasta los 5 minutos (Tabla 5).

Un adulto sano podría tener, como hipótesis posible, el mismo procedimiento observado en los casos anteriores: buscará evacuar rápidamente, ya que esta condición se alcanzará en los primeros 3 minutos.

Por otro lado, la severidad observada en la Tabla 5 lleva a la posibilidad de mayores daños humanos en un corto intervalo de tiempo. La víctima del Caso 2, por ejemplo, tendrá más tiempo disponible para discernir sus acciones. En cambio, la víctima de este caso, a pesar de que se espera una alerta más rápida, tendrá que actuar de manera más objetiva, práctica y precisa, es decir, en pocos segundos desde el inicio, ya que las temperaturas que propician quemaduras más profundas se alcanzan en el primer minuto (cf. Tabla 5).

No se espera supervivencia para una víctima en esta posición, a los casi 9 minutos de incendio, ya que la inconsciencia y las temperaturas fatales se alcanzan de inmediato (Tabla 5). Esto podrá ocurrir en los casos que involucren víctimas con movilidad y conciencia reducidas.

4.5 Caso 04 – Víctima acostada en la litera (cama superior)

La víctima situada en la cama superior de la litera tendrá inicialmente un efecto combinado de reducción de oxígeno y aumento de temperatura (Tabla 6). Es la víctima que más se aproxima, entre los cuatro casos, a una situación en la que las consecuencias relacionadas con el daño respiratorio ocurren primordialmente en detrimento del daño térmico. Esto se debe a que a los 3 minutos se tiene la menor reducción de oxígeno observada, lo que posibilitará la inconsciencia mientras duerme (Tabla 6).

En este punto, vale la pena recordar que el ambiente de simulación (cama superior) fue proyectado inmediatamente sobre la cama inferior. En condiciones reales, la estructura de la cama superior favorecería el bloqueo de la radiación térmica proveniente de abajo, teniendo la formación de la capa de humo justo encima del techo, la cual se estaría acercando cada vez más a la víctima. Este escenario real favorecería una percepción más reducida de la temperatura de las llamas, contribuyendo a que la víctima sea envuelta por la nube de humo.

En la Tabla 6, se observa que los daños térmicos son poco relevantes si se comparan con los daños respiratorios.

En la misma Tabla 6, se tiene el fin de la simulación para el Caso 4, en el que se encuentra la menor reducción de oxígeno de todos los casos, con las mayores concentraciones de dióxido y monóxido de carbono. La temperatura también es elevada, con efectos fisiológicos agresivos, pero con una leve reducción en relación con los de la posición del Caso 3. Se puede esperar para esta situación, entre los casos, el agravamiento de la situación de una víctima que no despertó por intoxicación respiratoria, permaneciendo en medio del desarrollo del incendio, yendo al fallecimiento en pocos minutos.

Tabla 6. Víctima acostada en la litera (cama superior).

Parámetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura (°C)
T _{simulación} 1 min	7.873	28	19,3	99,7
Efectos	-	-	Pensamiento y atención perjudicados; aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria; coordinación reducida; capacidad de trabajo reducida; rendimiento físico e intelectual reducidos.	Quemadura de 1° grado, edema de las vías aéreas superiores, pudiendo generar obstrucción respiratoria.
T _{simulación} 3 min	55.198	208	13,5	208,5
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio reducida; coordinación motora afectada; fatiga anormal después del esfuerzo; perturbación emocional.	Condiciones fatales casi inmediatas.
T _{simulación} 5 min	70.838	267	11,6	238,1
Efectos	Dificultad respiratoria alta; mareo; confusión mental; dolor de cabeza; sensación de falta de aire.	-	Capacidad de juicio y coordinación muy afectadas; respiración afectada, pudiendo causar daños cardíacos permanentes; posibilidad de desmayo en pocos minutos; náuseas y vómitos.	Condiciones fatales casi inmediatas.
Fin de la simulación (525 s o 8min45s)	82.042	310	10,1	273,9
Efectos	Visión borrosa; sudor; temblor; inconsciencia, posible muerte.	-	Capacidad de juicio y coordinación muy afectadas; respiración afectada, pudiendo causar daños cardíacos permanentes; posibilidad de desmayo en pocos minutos; náuseas y vómitos.	Condiciones fatales casi inmediatas.

Fuente: Resultados de la investigación, 2025.

Los resultados de simulación de este artículo con los resultados de Sá (2018) fueron los mismos en cuanto a los perfiles de temperatura de manera global. Al igual que el escenario utilizado, sin embargo, la diferencia sustancial reside en los puntos de interés de temperatura y de concentración de gases, considerando víctimas en posiciones diferentes de la habitación. Esto hace posible una discusión, aún no propuesta, sobre la supervivencia de personas en una habitación (dormitorio de una residencia) gravemente afectada por incendios en la RMR, en Brasil y en el mundo (ver revisión bibliográfica).

5. CONCLUSIONES

El artículo analizó una simulación computacional de incendio en una edificación residencial, típica de la ciudad de Recife, que produce la mayor cantidad de muertos y heridos, no solo en esa ciudad, sino en una serie de localidades en Brasil y en el mundo, como se ha visto en varios trabajos utilizados en la bibliografía.

Se adoptaron 4 posiciones para posibles víctimas con dificultad o incapacidad de locomoción, de la siguiente manera:

- Víctima en el Centro de la Habitación: A los 180 segundos (3 min), la combinación de temperaturas que llegaron a 212°C y la tasa de Dióxido de Carbono en 53.899 ppm., sería incompatible con la vida después de pocos segundos.
- Víctima en la Cama Individual: A los 525 segundos, aun estando en el lado opuesto al punto de inicio del incendio, reunía una temperatura de 181,6°C, Dióxido y Monóxido de carbono por encima de, respectivamente, 48.000 y 181 ppm. y Oxígeno correspondiente a 14,4%, condición improbable para la vida humana.
- Víctima en la Cama Inferior de la Litera: Al ser el lugar de inicio de las llamas, en 60 segundos ya ardía a 272,2°C, a los 180s la temperatura llegaba a 299°C y combinada con tasas de Dióxido de Carbono de 44.045 ppm, se puede proponer la no supervivencia de seres humanos.
- Víctima en la Cama Superior de la Litera: Las tasas de Oxígeno de 13,5% aún serían soportables, sin embargo 44.045 ppm de Dióxido de Carbono y temperaturas por encima de 208°C harían el lugar letal, después de 180 segundos, del inicio de las llamas.

Se estima que las limitaciones del programa (medición de otros gases y flujo térmico recibido), y la necesidad de simular otras configuraciones (carga de incendio, geometría, habitación, etc.) de incendios en edificaciones residenciales, son áreas de mejora y profundización para otros estudios. Habiendo la investigación bibliográfica revelado la significancia de los incendios en residencias entre el total de ocurrencias de incendio y que estos concentran la mayoría de los fallecimientos resultantes de incendios, se destaca la relevancia del presente estudio por tratar un tema poco discutido: la supervivencia de las personas en el interior de las edificaciones residenciales en llamas. Los resultados traen una importante advertencia ya que señalan poco tiempo de supervivencia. A partir de los datos obtenidos, personas con limitaciones de movimiento (ancianos, discapacitados, niños, bebés, etc.) o desorientados (hipoxia, intoxicación exógena, opacidad en el ambiente, etc.) tendrían sus vidas segadas en menos de 9 minutos, tiempo incompatible (en gran parte de los casos) con la identificación del incendio, la activación del servicio de Bomberos, su desplazamiento y la acción efectiva de salvamento-combate de incendios. Hay que tener en cuenta además que las residencias unifamiliares (en Brasil) no tienen ninguna previsión de sistema de alarma, prevención o protección contra incendios.

El estudio presentado señala además la relevancia del análisis de datos de un incendio correlacionando las variables entre bajos niveles de oxígeno, altos niveles de monóxido de carbono y elevadas temperaturas como factores preponderantes en todas las fases del incendio para lesiones y muertes, comparando diferentes posiciones de las víctimas, algo poco estudiado, en Brasil y América Latina.

El resultado del estudio busca discutir la conciencia sobre la necesidad de la seguridad contra incendios en estructuras residenciales que, por ahora, no son abarcadas por la legislación vigente, pero que son, en su gran mayoría, donde se inician los incendios estructurales demostrados en los datos estadísticos brasileños disponibles. Por lo tanto, el estudio propone tácitamente que la legislación brasileña adecue el grado de riesgo de esas estructuras, a los códigos de construcción y de seguridad contra incendios, incentivando el debate sobre la posibilidad de instalación de detectores de humo y/o alarmas y aún extractores, en las habitaciones de las residencias unifamiliares, entre otras medidas tangibles, buscando mitigar tales muertes. Estas medidas serán la base para nuevos estudios probatorios (o no) de la reducción de los fallecimientos en esos

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

ambientes.

Se destaca que la "calibración" desde el punto de vista del desarrollo del incendio, perfiles de temperatura y otras variables, fueron registrados en un experimento a escala real (Corrêa *et. al.*, 2017) y posteriormente en una simulación en FDS, presentando resultados compatibles entre sí (Sá, 2018) y consecuentemente acreditando los datos aquí presentados.

6. REFERÊNCIAS

- Alves, A.B.C.G., Campos, A.T., Braga, G.C.B. (2013). “*Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura*”. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU’2013 – Espaço Sustentável: Inovações em Edifícios e Cidades São Paulo/SP (Brasil).
- Bispo, R., Marques, F.J., Penha, A. *et al.*(2023). *Uma década de incêndios urbanos: acontecimentos portugueses entre 2013 e 2022*. *Sci Data* 10, 569. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02476-6>
- Braga, G.C.B. (2022). *Organização dos Corpos de Bombeiros Militares do Brasil e sua importância para o desenvolvimento das Pesquisas em Prevenção, Combate e Investigação de Incêndios: A Experiência do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF)*. Revista FLAMMAE, 8(24): 09-37. Disponível em: https://www.revistaflammae.com/_files/ugd/08765e_c5f3a02e858a4b219c34276f4f3651f8.pdf
- Braga, G.C.B., Corrêa, C., Matos, B., Cavalcanti, J. V. F. L., Lisboa Neto, J.P. (2021). *Incêndios em Ambiente com Materiais Brasileiros e Estrangeiros: Um Estudo Comparativo*. Revista FLAMMAE, 7(20): 07-29. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v7n20.p7-29>
- Braga, G.C.B., Landim, H.R.O. (2008). “*Investigação de incendios*”. In: A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, pp. 333-45.
- Brunetto, L. O. (2015). “*Simulação computacional de incêndios: uma aplicação no prédio da escola de engenharia nova da UFRGS*”. Monografia Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.105. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/148710>
- Carlos, T. B., Mariani, L. M., Moraes, H. H. Q.(2016). *Avaliação do desempenho de sistemas de controle de fumaça por modelagem numérica*. Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), Edição Especial: Anais do XVI SENABOM, 1(2): 3-16. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/17/18>
- Carnieletto, E C., Castro, M. G., Araújo, R. L. (2019). *Análise da importância de medidas de Segurança Contra Incêndio em Residências Unifamiliares*. Revista FLAMMAE, 5(12):77-103. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v5n12.p77-103>
- Carvalho, J. E. C.(2013). “*Aplicação de fluidodinâmica computacional para análise de segurança de túneis rodoviários sob incêndio*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), p.73. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_6babd31a7238cbcccc745488fb0ff2a9
- Corrêa, C. (2024a). *Fires In Brazil: Mapping And Lethality*. Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, 20. DOI: <https://doi.org/10.14393/Hygeia2068688>
- Corrêa, C. (2024b). *Incêndios no Brasil: mapeamento e letalidade*. Revista GESEC, 15(11): e4402. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i11.4402>
- Corrêa, C., Rêgo Silva, J. J., Pires, T. A., Braga, G. C. (2015). *Mapeamento de Incêndios em Edificações: Um estudo de caso na cidade do Recife*. Rev. Eng. Civil IMED, 2(3): 15-34. DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n3p15-34>

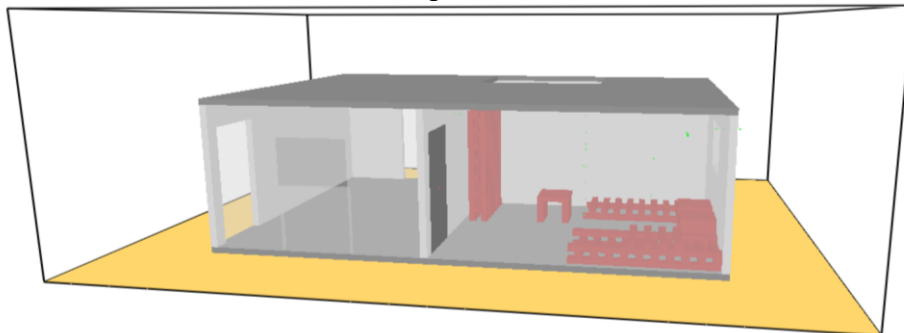
- Corrêa, C., Rêgo Silva, J. J., Pires, T.A., Braga, G.C.B.,Vieira de Melo, I.A. (2018). *Edifício Modal: Uma representação para o Estudo de Incêndios na cidade de Recife*. Revista Cientec, 8(2):37-46. Disponível em: <https://revistas.ifpe.edu.br/cientec/article/view/181>
- Corrêa, C., Duarte, D.C., Braga, G.C.B (2018). *Fragilidade das estatísticas de incêndios estruturais no Brasil*. Revista Brasileira de Saúde e Segurança no Trabalho, 1(1):44-49.DOI: <https://doi.org/10.37885/210504786>
- Corrêa, C., Braga, G.C.B, Bezerra Junior, J., Silva, J.J., Tabaczewski, R., Pires, T. A. (2017). *Incendio en compartimiento de residencia en la Ciudad de Recife: Un estudio experimental*. Revista ALCONPAT, 7(3): 215-230. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.221n>
- Corrêa, C. (2017). *Mapeamento dos incêndios em edificações: o Edifício Modal e suas aplicações, com foco na cidade de Recife*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil,(UFPE), p.134. Disponível em:<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29575/4/TESE%20Cristiano%20Corr%C3%AAA.pdf>
- Costa, L. M., Pires, T. A.C., Rêgo Silva, J. J. (2023). *Shear strengthening of fire-damaged reinforced concrete beams using NSM CFRP laminates*. Engineering Structures, 287: 116175.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116175>
- Cunha, L. J. B. F. (2016). *“O desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da segurança contra incêndio em edificações”*. Tese de Doutorado Arquit.e Urb. Universidade (UFRN), p.237. Disponível em:<https://repositorio.ufrn.br/items/846203ff-cd4c-4178-8231-752b786708e0>
- Cunha, I.O.P., Lugon, A.P., Bona, B.M. (2018). *Investigação experimental e modelagem da dispersão utilizando Fire Dynamics Simulator (FDS) para um vazamento acidental de GLP*. Revista FLAMMAE, 4(11):171-188. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v4n11.p171-188>
- Dornelas, P., Corrêa, C. (2025). *Dimensionamiento de la Carga de Fuego en Edificios Residenciales*. Revista Multitemas, 30(75) em edição.
- Falcão, G. M. (2024). *Perfil de Ocorrências de Incêndio em Edificações atendidas pelo CBMMG de 2018 a 2023*. Revista FLAMMAE, 10(30):01-43. Disponível em: https://www.revistaflammae.com/files/ugd/08765e_abe2b855cffd4a248a6d89344d4a73ac.pdf
- Fontenelle, F. M. A. (2012). *Análise Térmica em Estruturas de Tanques de Armazenamento de Etanol em Situação de Incêndio*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, (UFRJ), p.112.
- Hahnemann, A. L. C., Corrêa, C., Rabbani, E. R. K. (2017). *Evaluación de seguridad contra incendio: método alternativo aplicado a edificaciones brasileña*. Revista ALCONPAT, 7(2):186-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.178>
- Hennemann, G. G., Gil, A. M., Bolina, F. L., Rodrigues, E. E., Tutikian, B. F., Braga, G.C. (2018). *Modelling the influence of crowd control railings on the Kiss nightclub evacuation*. Fire Research, 2(1). DOI: <https://doi.org/10.4081/fire.2018.49>
- Laím, L., Rodrigues, J.P.C., da Silva, L.S. (2014). *Experimental analysis on cold-formed steel beams subjected to fire*. Thin-Walled Structures, 74:104-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2013.09.006>
- Mariani, L. M., Carlos, T. B. (2017). *Estudo de evacuação em edificação em Brasília com o uso do FDS-EVAC*. Ignis: Revista Técnico-Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), v.1(2):120-134. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/30/40>
- Matos, L. V. (2017). *“Estudo numérico do escoamento de gases por uma abertura durante um incêndio em ambiente conjugado”*. Monografia Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.125. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/177155>
- Mazzoni, F., Klein, D. L. (2015). *“Análise da Propagação de Incêndio em Prédios Altos através da Simulação Computacional”*. In: 3º CILASCI, Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios, Porto Alegre/RS (Brasil).

- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., Overholt, K.(2019). “*Fire Dynamics Simulator – User’s Guide*: 9a Edition. NIST” – Special Publication 1019: National Institute of Standards and Technology – NIST & Technical Research Centre of Finland – VTT, Maryland (EUA).
- Menezes, R.R.F, Corrêa, C. (2022), ‘*Entre mortos e feridos*’: mapeamento, caracterização e análise dos incêndios com vítimas na região metropolitana do Recife. OPEN SCIENCE RESEARCH VI, v. 6(1): 1493-1508, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37885/220910029>
- Pignatta e Silva, V., Rodrigues, F. C., Fakury, R. H., Pannoni, F. D. (2007). *Incêndio real em um apartamento de interesse social-um estudo de caso*. Rem: Revista Escola de Minas, 60(2):315-324. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000200014>
- Rodrigues, E.E.C., Rodrigues, J.P.C., Silva Filho, L.C.P. (2017). *Comparative study of building fire safety regulations in different Brazilian states*. Journal of Building Engineering, v.10 :102-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.03.001>
- Rodrigues, E. E. C. (2016). “*A Sistema de Gestão da Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações: fundamentação para uma regulamentação nacional*”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.178. Disponível em: www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142695
- Rodrigues, E. E. C. (2009). “*Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras*”. Dissertação em Engenharia Civil, (UFRGS), p.178. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/19045>
- Ruschel, F. (2011). “*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 de Mestrado em Engenharia Civil, (UFRGS), p.131. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/29047>
- Sá, R.T. (2018). “*Simulação numérica de incêndios em edificações*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, p.218. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29684>
- Santos, J. (2024). “*Incêndios com Mortos e Feridos em Belo Horizonte: Caracterização e Análise*”. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Engenharia de Incêndio, Universidade Federal de Pernambuco, p.124.
- Santos, J., Corrêa, C., Krüger, P.G. (2024). *Mapeo y caracterización de incendios con víctimas en Belo Horizonte*. Revista Nacional de Gerenciamento das Cidades (em edição), 2025.
- Santos, M.P. (2016). *Uso de detectores para a redução de Mortes ocasionadas por Incêndios em Residências Unifamiliares*. Revista FLAMMAE, 2(3):262-264. DOI: <http://dx.doi.org/10.21628/2359-4837/flammae.v2n3p262-264>
- Silva Filho, L. C. P., Rushchel F., Dolvitsch J., Lima, R. C. A., Braga, G.B. (2011). *Utilização de Métodos Computacionais na Reconstituição de Incêndios: Aplicação ao caso do Shopping Total*. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, 8(3):52-64. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rsae/article/view/2609>
- Vasconcelos, G. M. A., Pires, T.A.C., Rêgo Silva, J.J. (2023). Structural and fire performance of masonry walls with ceramic bricks.Engineering Structures, v. 291, p. 116399.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116399>
- Xiong, Y., Zhang, C., Qi, H., Liu, X. (2022). *Characteristics and Situation of Fire in China From 1999 to 2019: A Statistical Investigation*. Front. Environ. Sci. 10:945171., 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.945171>
- Tabaczinski, R., Corrêa, C., Santos, M. M., Pires, T. A., Silva, J. J. R. (2017). *Aplicação do software fire dynamics simulator (FDS) no estudo da segurança contra incêndios (SCI) no Brasil*. Revista FLAMMAE, 3(7):87-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v3n7.p87-116>

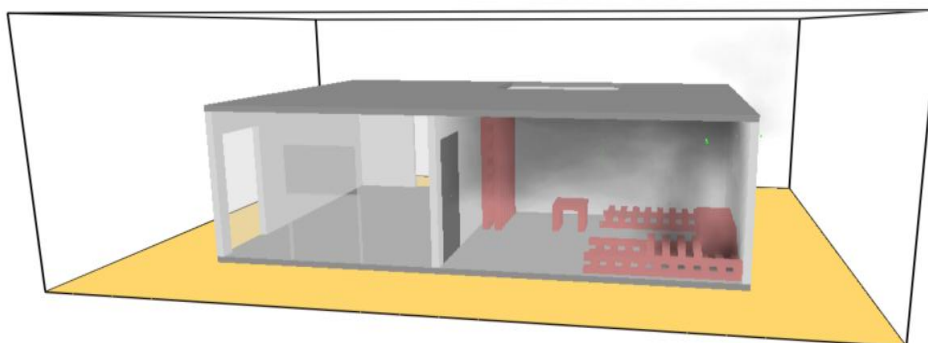
APÉNDICES

APÉNDICE 1 – IMÁGENES DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

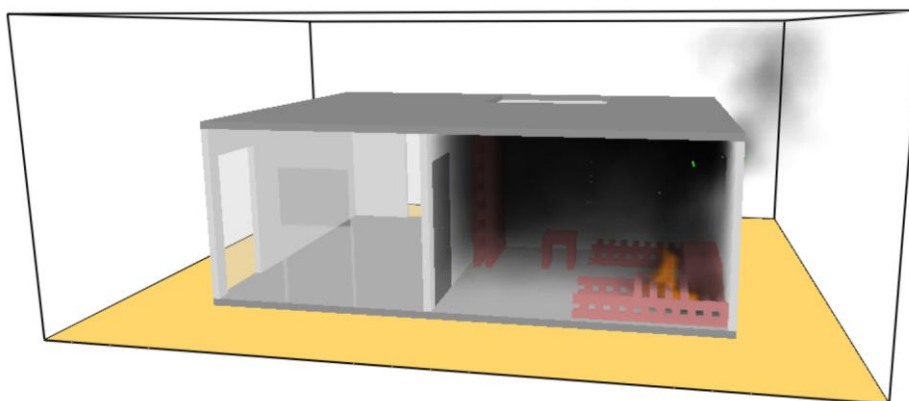
Tiempo = 0,0 s



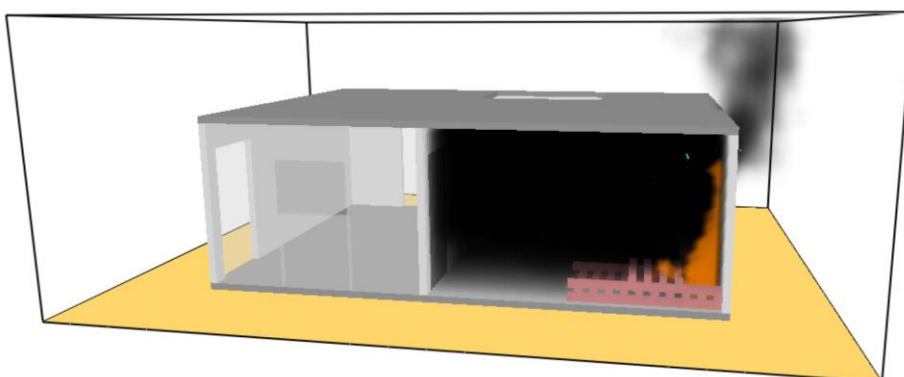
Tiempo = 30,0 s



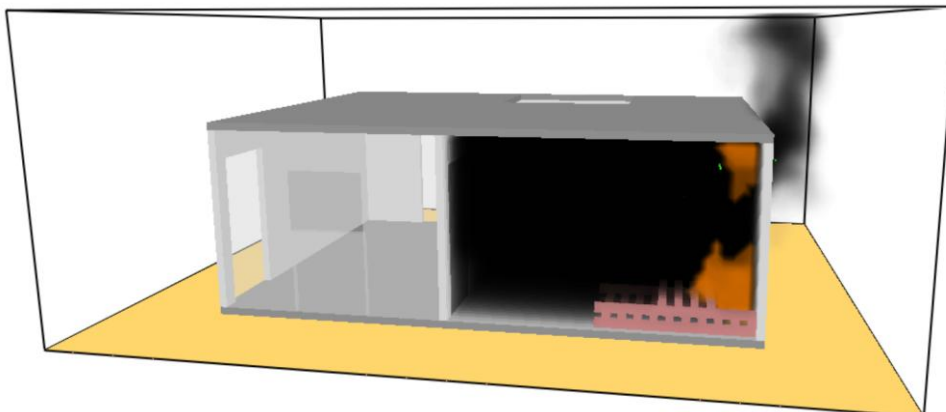
Tiempo = 1 min



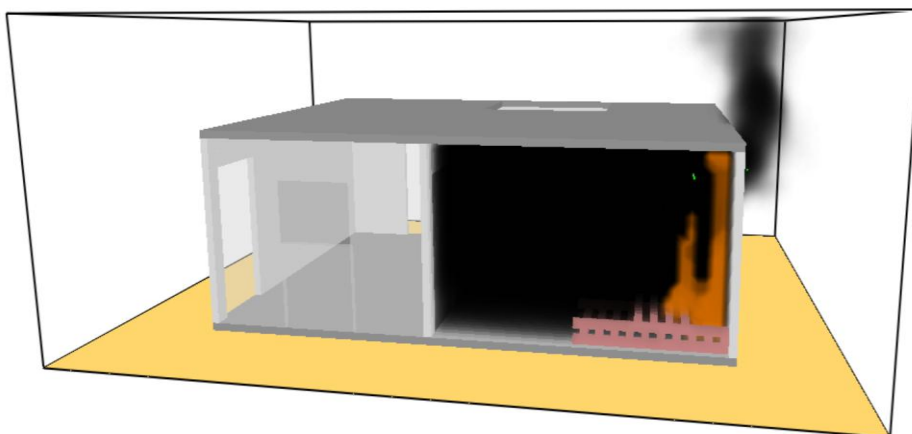
Tiempo = 2 min



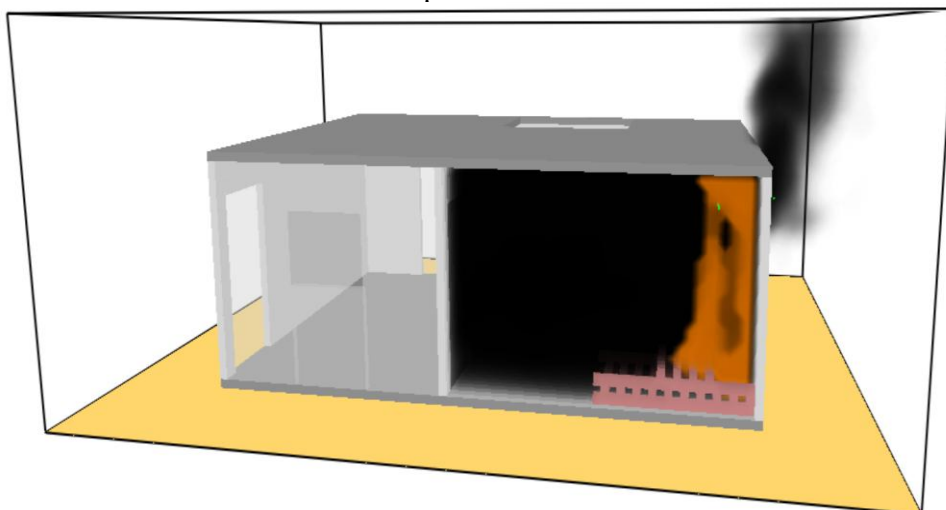
Tiempo = 3 min



Tempo = 5 min



Tempo = 8min45s



APÊNDICE 02 – CÓDIGO FUENTE DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

```
&HEAD CHID = 'artigo', TITLE = 'Artigo'/
```

```
DEFINIÇÃO DA MALHA (10 cm):
```

```
&MESH IJK=100,75,40, XB=-1.5,8.5,-3.0,4.5,-0.1,3.9 /
```

```
DEFINIÇÃO DO TEMPO DE SIMULAÇÃO (EM SEGUNDOS):
```

```
&TIME T_END=3000.0 /
```

```
&DUMP DT_RESTART=10.0 / cria arquivos de restart a cada 10 s de  
simulação
```

```
PARÂMETROS INICIAIS DO AMBIENTE:
```

```
TEMPERATURA AMBIENTE = 29.5°C
```

```
PRESSÃO ATMOSFÉRICA = 101325 Pa
```

```
HUMIDADE DO AR = 80%
```

```
VENTO DE 3 m por s À 45°
```

```
U 0 = 3*cos(45) = 2.12
```

```
V 0 = 3*sen(45) = 2.12
```

```
&MISC TMPA=29.5,
```

```
      P_INF=101325.0,
```

```
      HUMIDITY=80.0,
```

```
/
```

```
&WIND U0=2.12,
```

```
      V0=2.12
```

```
/
```

```
>>> caso seja necessário, para iniciar um restart deve-se ativar
```

```
este comando na namelistmisc<<<
```

```
ABRINDO A MALHA PARA O EXTERIOR (INTERAÇÃO COM O AMBIENTE):
```

```
&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN' /
```

```
&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN' /
```

```
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN' /
```

```
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN' /
```

```
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /
```

```
REAÇÃO GASOSA DO INCÊNDIO:
```

Em uma simulação de incêndio no FDS, há apenas um combustível gasoso que atua como um substituto para todas as fontes de combustível em potencial.

```
&SPEC ID='madeira', FORMULA='CH1.7O0.74N0.002' /
```

```
&REAC      ID='MADEIRA'
```

```
      FUEL='madeira'
```

```
      HEAT_OF_COMBUSTION=17500.0
```

```
      SOOT_YIELD=0.015
```

```
      CO_YIELD=0.004 /
```

```
MATERIAIS NÃO COMBUSTÍVEIS:
```

```
Propriedades obtidas de ABNT NBR 15220 (2003)
```

```
TIJOLO CERÂMICO:
```

```
DENSIDADE = 1400 kg por m³
```

```
CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 0.9 W por m.K
```

```
CALOR ESPECÍFICO = 0.92 kJ por (kg.K)
```

```
EMISSIVIDADE = 0.9
```

```
&MATL      ID='TIJOLO'
```

```
      DENSITY=1400.0
```

```
      CONDUCTIVITY=0.9
```

```
      SPECIFIC_HEAT=0.92
```

```
      EMISSIVITY=0.9 /
```

```
ARGAMASSA DE GESSO:
```

```
DENSIDADE = 1200 kg por m³
```

```
CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 0.7 W por m.K
```

```
CALOR ESPECÍFICO = 0.84 kJ por (kg.K)
```

```
EMISSIVIDADE = 0.9
```

```
&MATL      ID='A_GESSO'
```

```
      DENSITY=1200.0
```

```
      CONDUCTIVITY=0.7
```

```
      SPECIFIC_HEAT=0.84
```

```
      EMISSIVITY=0.9 /
```

REAÇÃO GASOSA DO INCÊNDIO:

Em uma simulação de incêndio no FDS, há apenas um combustível gasoso que atua como um substituto para todas as fontes de combustível em potencial.

&SPEC ID='madeira', FORMULA='CH1.7O0.74N0.002' /

```
&REAC      ID='MADEIRA'
           FUEL='madeira'
           HEAT_OF_COMBUSTION=17500.0
           SOOT_YIELD=0.015
           CO_YIELD=0.004 /
```

MATERIAIS NÃO COMBUSTÍVEIS:

Propriedades obtidas de ABNT NBR 15220 (2003)

TIJOLO CERÂMICO:

DENSIDADE = 1400 kg por m³
 CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 0.9 W por m.K
 CALOR ESPECÍFICO = 0.92 kJ por (kg.K)
 EMISSIVIDADE = 0.9

```
&MATL      ID='TIJOLO'
           DENSITY=1400.0
           CONDUCTIVITY=0.9
           SPECIFIC_HEAT=0.92
           EMISSIVITY=0.9 /
```

ARGAMASSA DE GESSO:

DENSIDADE = 1200 kg por m³
 CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 0.7 W por m.K
 CALOR ESPECÍFICO = 0.84 kJ por (kg.K)
 EMISSIVIDADE = 0.9

```
&MATL      ID='A_GESSO'
           DENSITY=1200.0
           CONDUCTIVITY=0.7
           SPECIFIC_HEAT=0.84
           EMISSIVITY=0.9 /
```

ARGAMASSA DE CIMENTO:

DENSIDADE = 2000 kg por m³
 CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 1.15 W por m.K
 CALOR ESPECÍFICO = 1.0 kJ por (kg.K)
 EMISSIVIDADE = 0.9

&MATL ID='A_CIMENTO'

```
DENSITY=2000.0
CONDUCTIVITY=1.15
SPECIFIC_HEAT=1.0
EMISSIVITY=0.9 /
```

CONCRETO:

DENSIDADE = 2300 kg por m³
 CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 1.75 W por m.K
 CALOR ESPECÍFICO = 1.0 kJ por (kg.K)
 EMISSIVIDADE = 0.9

&MATL ID='CONCRETO'

```
DENSITY=2300.0
CONDUCTIVITY=1.75
SPECIFIC_HEAT=1.0
EMISSIVITY=0.9 /
```

```
&SURF ID='PISO', COLOR='GRAY', MATL_ID='CONCRETO', THICKNESS=0.1,
BACKING='EXPOSED' /
```

&SURF ID='TETO'

```
COLOR='GRAY'
MATL_ID='TIJOLO','CONCRETO'
THICKNESS=0.07,0.03
BACKING='EXPOSED' /
```

&SURF ID='PAREDE_CIMENTO'

```
COLOR='SILVER'
MATL_ID='A_CIMENTO','TIJOLO','A_CIMENTO'
THICKNESS = 0.025,0.1,0.025
BACKING='EXPOSED' /
```

&SURF ID='PAREDE_CHAPISCADA'

```
COLOR='SILVER'
MATL_ID='A_CIMENTO','TIJOLO','A_CIMENTO'
THICKNESS = 0.01,0.1,0.025
BACKING='EXPOSED' /
```

&SURF ID='PAREDE_GESSO'

COLOR='SILVER'

MATL_ID='A_GESSO','TIJOLO','A_CIMENTO'

THICKNESS = 0.025,0.1,0.025

BACKING='EXPOSED' /

MATERIAIS COMBUSTÍVEIS:

MADEIRA:

DENSIDADE = 400 kg/m³

EMISSIVIDADE = 0.9

CONDUTIVIDADE TÉRMICA = 0.12 W/m.K

CALOR ESPECIFICO = 1.34 kJ/(kg.K)

CALOR DE COMBUSTÃO = 17500 kJ/kg

TEMPERATURA DE IGNIÇÃO = 210 °C

TAXA DE LIBERAÇÃO DE CALOR = 100 kW/m²

&MATL ID='MADEIRA'

SPECIFIC_HEAT=1.34

CONDUCTIVITY=0.12

EMISSIVITY=0.9

DENSITY=400.0

HEAT_OF_COMBUSTION=17500.0 /

&SURF ID='MAD'

COLOR='BROWN'

BURN_AWAY=.TRUE.

BACKING='EXPOSED'

MATL_ID='MADEIRA'

THICKNESS=0.1

IGNITION_TEMPERATURE=210

HRRPUA=100 /

GEOMETRIA DO COMPARTIMENTO:

PISO:

&OBST XB=-0.1,7.1,-1.7,3.1,-0.1,0.0, SURF_ID='PISO' /

TETO:

&OBST XB=-0.1,1.8,-1.7,-0.1,2.4,2.5, SURF_ID='TETO' /

&OBST XB=1.8,3.9,-1.7,-1.6,2.4,2.5, SURF_ID='TETO' /

&OBST XB=3.9,7.1,-1.7,-0.1,2.4,2.5, SURF_ID='TETO' /

&OBST XB=-0.1,7.1,-0.1,3.1,2.4,2.5, SURF_ID='TETO' /

PAREDE P7:

&OBST XB=-0.1,0.0,-1.7,-0.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

PAREDE P1 (considerado a abertura da janela J01):

&OBST XB=-0.1,0.0,-0.1,1.0,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CHAPISCADA' /

&OBST XB=-0.1,0.0,1.0,2.0,0.0,1.2, SURF_ID='PAREDE_CHAPISCADA' /

&OBST XB=-0.1,0.0,1.0,2.0,2.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CHAPISCADA' /

&OBST XB=-0.1,0.0,2.0,3.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CHAPISCADA' /

PAREDE P3 (considerando a abertura da porta P01):

&OBST XB=3.9,4.0,-0.1,2.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

&OBST XB=3.9,4.0,2.1,2.9,2.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

&OBST XB=3.9,4.0,2.9,3.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

Considerando que a porta foi abertura em 1080 segundos:

&OBST XB=3.9,4.0,2.1,2.9,0.0,2.0, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO',

COLOR='BLACK', DEVC_ID='tempo01' /

&DEVC XYZ=3.9,2.5,1.0, ID='tempo01', SETPOINT= 1080.0,

QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.true. /

PAREDE P6 (considerando a abertura da porta P02):

&OBST XB=7.0,7.1,-1.7,2.0,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

&OBST XB=7.0,7.1,2.0,2.9,2.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

&OBST XB=7.0,7.1,2.9,3.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

PAREDE P2:

&OBST XB=0.0,3.9,3.0,3.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_GESSO',

COLOR='SILVER', TRANSPARENCY=0.5 /

PAREDE P5 (considerado a abertura da janela J02):

&OBST XB=4.0,5.0,3.0,3.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO',

COLOR='SILVER', TRANSPARENCY=0.5 /

&OBST XB=5.0,6.0,3.0,3.1,0.0,1.1, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO',

COLOR='SILVER', TRANSPARENCY=0.5 /

&OBST XB=5.0,6.0,3.0,3.1,1.9,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO',

COLOR='SILVER', TRANSPARENCY=0.5 /

&OBST XB=6.0,7.0,3.0,3.1,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO',

COLOR='SILVER', TRANSPARENCY=0.5 /

PAREDE P4:

&OBST XB=0.0,3.9,-0.1,0.0,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CHAPISCADA' /

PAREDE P8 (considerando a abertura da porta P03):

&OBST XB=0.0,5.0,-1.7,-1.6,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

&OBST XB=5.0,5.9,-1.7,-1.6,2.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

&OBST XB=5.9,7.0,-1.7,-1.6,0.0,2.4, SURF_ID='PAREDE_CIMENTO' /

ESCADA:

&MULT ID='escada', DXB=-0.2,-0.2,0.0,0.0,0.2,0.2, N_LOWER=0,

N_UPPER=11 /

&OBST XB=3.8,4.0,-1.6,-0.1,0.0,0.2, MULT_ID='escada',

SURF_ID='PISO' /

CARGA DE INCÊNDIO:

CAMA + COLCHÃO:

&MULT ID='C1', DY=0.7, DX0=0.0, DY0=0.0, DZ0=0.0, J_LOWER=0,

J_UPPER=1 /

&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.1,0.0,0.1, MULT_ID='C1', SURF_ID='MAD' /

&MULT ID='C2', DX=0.2, DX0=0.0, DY0=0.0, DZ0=0.1, I_LOWER=0,

I_UPPER=9 /

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,0.8,0.0,0.1, MULT_ID='C2', SURF_ID='MAD' /

BELICHE + COLCHÃO:

&MULT ID='B1', DY=0.7, DX0=0.0, DY0=2.2, DZ0=0.0, J_LOWER=0,

J_UPPER=1 /

&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.1,0.0,0.1, MULT_ID='B1', SURF_ID='MAD' /

&MULT ID='B2', DX=0.2, DX0=0.0, DY0=2.2, DZ0=0.1, I_LOWER=0,

I_UPPER=9 /

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,0.8,0.0,0.1, MULT_ID='B2', SURF_ID='MAD' /

&MULT ID='B3', DY=0.7, DX0=0.0, DY0=2.2, DZ0=0.2, J_LOWER=0,

J_UPPER=1 /

&OBST XB=0.0,2.0,0.0,0.1,0.0,0.1, MULT_ID='B3', SURF_ID='MAD' /

&MULT ID='B4', DX=0.2, DX0=0.5, DY0=2.2, DZ0=0.3, I_LOWER=0,

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,0.8,0.0,0.1, MULT_ID='B4', SURF_ID='MAD' /

CRiado MUDO 1 + VENTILADOR:

&MULT ID='CM1', DY=0.4, DX0=0.0, DY0=0.9, DZ0=0.0, J_LOWER=0,

J_UPPER=1 /

&OBST XB=0.0,0.5,0.0,0.1,0.0,0.4, MULT_ID='CM1', SURF_ID='MAD' /

&OBST XB=0.0,0.5,0.9,1.4,0.4,0.5, SURF_ID='MAD' /

CRiado MUDO 2 + VENTILADOR:

&MULT ID='CM2', DY=0.4, DX0=0.0, DY0=1.6, DZ0=0.0, J_LOWER=0,

J_UPPER=1 /

&OBST XB=0.0,0.5,0.0,0.1,0.0,0.4, MULT_ID='CM2', SURF_ID='MAD' /

&OBST XB=0.0,0.5,1.6,2.1,0.4,0.5, SURF_ID='MAD' /

CRiado MUDO 3 + TELEVISOR:

&MULT ID='CM3', DX=0.4, DX0=2.2, DY0=0.6, DZ0=0.0, I_LOWER=0,

I_UPPER=1 /

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,0.5,0.0,0.4, MULT_ID='CM3', SURF_ID='MAD' /

&OBST XB=2.2,2.7,0.6,1.1,0.4,0.5, SURF_ID='MAD' /

GUARDA-ROUPAS + ROUPAS + PAPÉIS:

&MULT ID='GR1', DY=0.2, DX0=3.5, DY0=0.1, DZ0=0.0, J_LOWER=0,

J_UPPER=5 /

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,0.1,0.0,2.1, MULT_ID='GR1', SURF_ID='MAD' /

&MULT ID='GR2', DZ=0.3, DX0=3.6, DY0=0.0, DZ0=0.2, K_LOWER=0,

K_UPPER=6 /

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,1.3,0.0,0.1, MULT_ID='GR2', SURF_ID='MAD' /

&MULT ID='GR3', DY=0.2, DX0=3.7, DY0=0.1, DZ0=0.0, J_LOWER=0,

J_UPPER=5 /

&OBST XB=0.0,0.1,0.0,0.1,0.0,2.1, MULT_ID='GR3', SURF_ID='MAD' /

QUEIMADOR PARA IGNIÇÃO DO INCÊNDIO:

&SURF ID='QUEIMADOR'

COLOR='RED'

HRRPUA=3000.0

RAMP_Q = 'fire_ramp' /

&RAMP ID='fire_ramp', T=0.0, F=0.0 /

&RAMP ID='fire_ramp', T=30.0, F=1.0 /

&RAMP ID='fire_ramp', T=120.0, F=1.0 /

&RAMP ID='fire_ramp', T=150.0, F=0.0 /

&VENT XB=1.1,1.2,2.3,2.4,0.0,0.0, SURF_ID='QUEIMADOR' /

MEDIDORES:

TERMOPARES:

NO CENTRO DO COMPARTIMENTO:

&DEVC XYZ=1.9,1.5,0.3, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H30' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,0.6, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H60' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,0.9, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H90' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.2, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H120' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H150' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.8, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H180' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H210' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H230' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.6, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', ID='CO2_PESSOA_CENTRO' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.6, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='OXYGEN', ID='O2_PESSOA_CENTRO' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.6, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', ID='CO_PESSOA_CENTRO' /

&DEVC XYZ=1.9,1.5,1.6, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='H160' /

PAREDE P3:

&DEVC XYZ=3.9,1.6,2.1, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=-1,

ID='09' / na face, do lado de dentro do dormitório

&DEVC XYZ=3.8,1.6,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='09G' / no gás,

do lado de dentro do dormitório

&DEVC XYZ=4.0,1.6,2.1, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=1, ID='10'

/ na face, do lado de fora do dormitório

&DEVC XYZ=4.1,1.6,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='10G' / no gás,

do lado de fora do dormitório

PAREDE P2:

&DEVC XYZ=0.5,3.0,2.1, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=-2,

ID='11' / na face, do lado de dentro do dormitório

&DEVC XYZ=0.5,2.9,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='11G' / no gás,

do lado de dentro do dormitório

&DEVC XYZ=0.5,3.1,2.1, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=2, ID='12'

/ na face, do lado de fora do dormitório

&DEVC XYZ=0.5,3.2,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='12G' / no gás,

do lado de fora do dormitório

PAREDE P1:

&DEVC XYZ=0.0,2.5,2.1, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=1, ID='13'

/ na face, do lado de dentro do dormitório

&DEVC XYZ=0.1,2.5,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='13G' / no gás,

do lado de dentro do dormitório

&DEVC XYZ=-0.1,2.5,2.1, QUANTITY='WALL TEMPERATURE', IOR=-1,

ID='14' / na face, do lado de fora do dormitório

&DEVC XYZ=-0.2,2.5,2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='14G' / no gás,

do lado de fora do dormitório

ALTURA DA CAMADA LIVRE DE FUMAÇA NO COMPARTIMENTO:

&DEVC XB=1.9,1.9,1.5,1.5,0.0,2.4, QUANTITY='LAYER HEIGHT',

ID='ACF_Comp' /

CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO NO COMPARTIMENTO:

&DEVC XB=0.0,3.9,0.0,3.0,0.0,2.4, QUANTITY='MASS FRACTION',

SPEC_ID='OXYGEN', ID='COx_Comp' /

ANALISE DO ARTIGO PERICIA:

&DEVC XYZ=0.9,2.5,0.4, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', ID='CO2_BEL_BAIXO' /

&DEVC XYZ=0.9,2.5,0.4, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='OXYGEN', ID='O2_BEL_BAIXO' /

&DEVC XYZ=0.9,2.5,0.4, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', ID='CO_BEL_BAIXO' /

&DEVC XYZ=0.9,2.5,0.4, QUANTITY='TEMPERATURE',
ID='TEMP_GAS_BEL_BAIXO' /

&DEVC XYZ=0.9,2.5,1.6, QUANTITY='VOLUME FRACTION',

SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', ID='CO2_BEL_CIMA' /


```

&DEVC XYZ=0.9,2.5,1.6, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='OXYGEN', ID='O2_BEL_CIMA'/
&DEVC XYZ=0.9,2.5,1.6, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', ID='CO_BEL_CIMA'/
&DEVC          XYZ=0.9,2.5,1.6,          QUANTITY='TEMPERATURE',
ID='TEMP_GAS_BEL_CIMA' /

```

```

&DEVC XYZ=0.9,0.4,0.4, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', ID='CO2_CAMA'/
&DEVC XYZ=0.9,0.4,0.4, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='OXYGEN', ID='O2_CAMA'/
&DEVC XYZ=0.9,0.4,0.4, QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', ID='CO_CAMA'/
&DEVC XYZ=0.9,0.4,0.4, QUANTITY='TEMPERATURE', ID='TEMP_GAS_CAMA' /

```

PLANO DE TEMPERATURAS DOS GASES:

```

&SLCF PBY=1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE.,
ID='PerfilTemp_Y150' /

```

&TAIL / FIM DO ARQUIVO