



Estudo da dinâmica de evacuação em caso de incêndio e pânico no Teatro Municipal de Nova Veneza – SC

Helena Amboni Destro¹,

Flávia Cauduro²,

Resumo: Os incêndios em construções podem acontecer de maneiras aleatórias e por esse motivo se tornam arriscados e agressivos. Além da preservação da edificação, é necessário o estudo da proteção das pessoas presentes no local, a fim de minimizar o risco à vida. O presente projeto teve como objetivo a análise e o estudo das condições de segurança de um teatro, localizado na cidade de Nova Veneza. Essa análise foi feita com o estudo de projeto baseado em desempenho, *performance-based design*, através de duas ferramentas computacionais. Uma fez a simulação do caminho da evacuação dos indivíduos presentes e a outra demonstrou a propagação da fumaça proveniente de um determinado incêndio. Através dos *softwares* foram extraídos dados e gráficos importantes para uma clara e dinâmica observação dos resultados. Com esses resultados obtidos foi possível analisar o quão segura está a edificação já construída e em quais aspectos ela poderia ser aprimorada para uma maior segurança caso viesse acontecer situações de emergência.

Palavras-chave: incêndio; segurança contra incêndio; simulação de evacuação, situação de pânico; *software*.

Study of the dynamics of evacuation in case of fire and panic in the Municipal Theater of Nova Veneza – SC

Abstract: Building fires can happen in random situations and for that reason it becomes risky and aggressive. In addition to the preservation of the building, it is necessary to study the protection of all the people who are present in the place, in order to minimize the life's risk. This project aimed to analyze and study the security conditions of a theater located in the city of Nova Veneza. This analysis was done with the study of performance-based design, using two computational tools. One simulated the evacuation path of the individuals present and the other one provided the spread of smoke from a particular fire. Through the softwares, important data and graphics were extracted for a clear and dynamic observation of the results. With these results obtained, it was possible to analyze how safe is the building which is already built and in which aspects it could be improved for greater safety in case of emergency situations.

Key-words: fire; fire safety; evacuation simulation; panic situation; software.

¹ Engenheira Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, helenadestro@unesc.net.

² Mestre, Universidade do Extremo Sul Catarinense, flavia.cauduro@unesc.net.



Introdução

A alta demanda de tecnologia, industrialização e competitividade na construção, cria a necessidade de que as edificações estejam cada vez mais preparadas e equipadas para o caso de ocorrências de incêndios, a fim de certificar uma maior segurança. Conforme especificação da NBR 13860 da ABNT (1997, p. 7), “incêndio é um fogo fora de controle” e que para cessá-lo, faz-se de grande importância conhecer e analisar seu surgimento, bem como as formas de propagação, fases e as classes de risco que se enquadram.

No Brasil em 2019, conforme estatísticas do Instituto *Sprinkler* Brasil (ISB), houve 866 casos de incêndios estruturais, sendo que 132, 15,24%, desses registros foram contabilizados para o estado de Santa Catarina, ficando atrás somente do estado de São Paulo com 179 registros. Em 2020, foram cadastrados 1244 casos no Brasil, sendo 378 casos a mais em comparação ao ano anterior, crescimento de 43,65%. Número este, que se equivale aproximadamente a soma dos quatro meses com maiores índices de incêndios cadastrados de 2019. Já em 2021, até o final do mês de março, foram listados 562 casos, valor este que supera em 113,69% o mesmo período de 2020.

Segundo relato do professor norte americano Dr. Jim Milke (20--), quando se fala em proteção contra incêndio, é preciso ter em mente que os objetivos a serem considerados na segurança ao fogo são pessoas, propriedades e meio ambiente e para que sejam alcançados, devem-se tomar medidas de segurança indispensáveis, classificadas em medidas ativas ou medidas passivas.

Para Seito (2008), as medidas ativas relacionam-se aos sistemas de detecção e combate, como por exemplo a instalação de *sprinklers*, hidrantes e extintores; já as medidas passivas, não têm objetivo de extinguir o fogo, mas sim, prevenir a propagação, contê-lo a fim de minimizar os danos e permitir a evacuação das pessoas, exemplo destas são as saídas de emergência, rotas de fuga da edificação, iluminação de emergência, sinalização de abandono de local entre outras, que são cobradas em análises de PPCI (projeto preventivo contra incêndio).

Assim, dentre as medidas passivas, as rotas de fuga têm grande importância. De acordo com a classificação da NBR 13860 da ABNT (1997), para a rota de fuga são considerados os caminhos adequadamente indicados a serem percorridos, com a finalidade de chegarem até as saídas de emergência, para um rápido e seguro escape do local em casos de contratempos. Para serem produzidas, é necessário que o projetista analise e siga todas as normas técnicas regulamentadoras de acordo com as particularidades de cada obra, no propósito de diminuir situações indevidas.

Um dos fenômenos que ocorre em incêndios, é o *flashover*, quando todos os combustíveis, simultaneamente, atingem os seus pontos de ignição. Neste momento, a temperatura pode chegar a 540 °C, o nível de concentração de oxigênio no ambiente fica abaixo de 2% e a produção de CO, monóxido de carbono, aumenta significativamente; no pós-*flashover* a temperatura da fumaça pode chegar a 1100 °C dependendo dos materiais e da ventilação do ambiente (MILKE, 2016). Por conta destas considerações, Coughi (2006) admite que não há segurança à vida em um ambiente que durante um incêndio tenha ocorrido o fenômeno do *flashover*. Portanto a rota de fuga projetada deve ser minuciosa para que a evacuação completa da edificação seja rápida o suficiente para ocorrer antes deste fenômeno.

Seito (2008) definiu que o tempo de evacuação dessas rotas de fuga é influenciado pelo tipo de ocupação do local, gravidade da emergência e também pelas características da população presente. Em vista disso, ao analisar todos os pontos de importância para o período da desocupação, é viável a elaboração das simulações das evacuações. Gouveia e Etrusco (2002) determinaram a equação para o tempo estimado da evacuação completa de um local. Esse tempo se baseia na soma entre o tempo após o início da ignição que os sistemas de detecção levam para a suas ativações, tempo até que o alarme seja acionado, tempo de reação ao alarme e o tempo gasto pelos ocupantes durante o caminho de fuga até a saída.

No Brasil os sistemas de prevenção contra incêndio utilizados são os cumprimentos das leis e normativas, tais como as Instruções Normativas impostas pelo Corpo de Bombeiros Militar de cada estado. Sendo que, para que a edificação tenha uma maior segurança é necessária uma análise detalhada do local e de suas peculiaridades.



Conforme apresenta Mattedi (2005), os *softwares* são opções consideradas para a melhoria da qualificação dos projetos, porém por serem ainda de difícil acesso e pouco difundidos no país, raramente são utilizados para essas projeções.

Em contrapartida, nos Estados Unidos da América e em alguns países da Europa pode-se observar a incorporação destas ferramentas desde as fases iniciais em conceitos arquitetônicos, sabendo que, quanto antes os problemas forem detectados e corrigidos, mais segura e econômica a edificação ficará. Esse tipo de projeção, com a ajuda de sistemas é denominada de projeto baseado em desempenho, mundialmente conhecido como *performance-based design (PBD)* (MATTEDI, 2005).

Seguindo as palavras de Ferreira (2020), a incorporação da utilização de variados *softwares* tem como objetivo reduzir os custos do projeto por meio da economia de tempo, melhorar os resultados e incrementar a confiança das análises a serem feitas. Além de permitir resultados com visuais profissionais e dinâmicos e investimentos seguros e eficientes.

Ressalta-se que por mais eficaz que sejam esses métodos de projeções, eles não atuam completamente de acordo com o comportamento humano, visto que, quando expostos a situações de pânico, o homem tende a agir com atitudes alteradas (KULIGOWSKI, 2016). Além disso, ainda segundo Kuligowski (2016), é necessário prever que há a possibilidade da presença de pessoas com limitações físicas para percorrerem a rota de fuga por conta própria, diminuindo assim o fluxo da saída. Por isso, o projeto arquitetônico e preventivo contra incêndio deve considerar a população que irá habitar ou frequentar a edificação a fim de um resultado com maior precisão.

Segundo Mattedi (2005), para que projeto baseado em desempenho seja implementado e colocado em prática no Brasil, é necessário que ocorram alguns quesitos, tais como o amadurecimento da Engenharia de Incêndio e também a qualificação e formações de profissionais na área. Outro ponto a se destacar deve ser a implementação de políticas públicas no assunto e investimentos em produtos e sistemas que valorizem a segurança contra incêndio.

O cenário exposto nesta pesquisa tem como objetivo estudar o processo de evacuação em situação de incêndio, através de ferramentas computacionais, no Teatro Municipal de Nova Veneza – SC, localizado em anexo ao *Palazzo Delle Acque* na Praça da Chaminé. Com



a finalidade de averiguar a segurança do Teatro já edificado, nas situações expostas, e por fim determinar variáveis específicas para que a fuga possa ser realizada com maior cautela possível.

Materiais e Métodos

A edificação do Teatro Municipal de Nova Veneza, de 2012, tem dimensões de 25,10 por 20,32 metros, e área de 510 m² em um único pavimento de altura 5,30 metros. Está localizada na Travessa Osvaldo Búrigo, esquina com a Rua Ado Caldas Faraco. A edificação se caracteriza como F-5, local de reunião de público, de acordo com a IN 01 (2021) do CBMSC, conta com capacidade para 350 ocupantes. Possui três portas para saída, sendo uma de 1,50 m para a Rua Ado Caldas Faraco, e as outras duas de 1,20 e 1,70 m para o interior do salão de eventos do *Palazzo Delle Acque*, todas as saídas possuem altura de 2,15 metros.

Como escolha para este estudo foi a utilização do *Software Pathfinder* juntamente com o *Software PyroSim*, ambos da empresa norte americana *Thunderhead Engineering*. A disponibilidade para a aplicação da programação dessas ferramentas foi cedida pela própria empresa responsável, contando com a licença acadêmica de 180 dias e sua renovação, bem como assistência via e-mail e manuais de utilização.

Os *softwares Pathfinder* e *PyroSim* trabalham em conjunto, a elaboração do plano de fuga e da demonstração de evacuação dos ocupantes será realizada pelo *Pathfinder*. Já a simulação do foco do incêndio e da propagação da fumaça, pelo *PyroSim*.

O *Pathfinder* estima o tempo de escape de cada pedestre de forma dinâmica e individual, a partir de determinados parâmetros delimitados conforme a simulação requerida ao *software*. Os indivíduos da simulação definem a rota de fuga mais adequada, visando o menor tempo de fuga. Isto ocorre com a premissa de que dois indivíduos não ocupem o mesmo espaço. Os parâmetros utilizados para a escolha do caminho a ser percorrido são o tempo de fila e de percurso para cada rota de fuga da edificação, a distância total a ser percorrida e a velocidade média do indivíduo. A partir disso, o *software* permitirá a detecção e análise do tempo de evacuação, de pontos de congestionamentos e obstáculos que poderão obstruir o caminho e resultar em lentidão no momento da evacuação.

A sequência realizada para a obtenção dos resultados está representada pelo fluxograma, Figura 1. Após a obtenção da planta baixa da edificação em estudo, a mesma foi projetada em plataforma BIM, *Building Information Modeling*, para a modelagem em 3D, três dimensões.

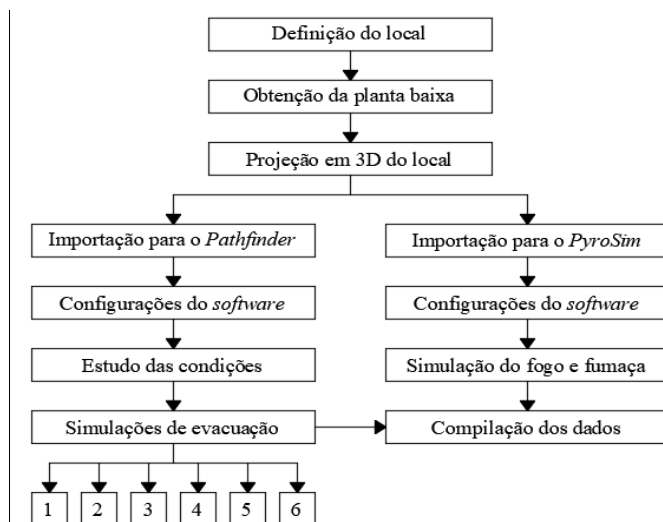


Figura 1. Fluxograma sequencial do estudo

A partir da importação do projeto 3D no *Pathfinder*, Figura 2, foram realizadas as configurações do *software* e determinados os parâmetros a serem simulados. Neste estudo foram realizadas seis simulações com diferentes parâmetros para o alcance do objetivo de estudar a dinâmica de evacuação no Teatro.

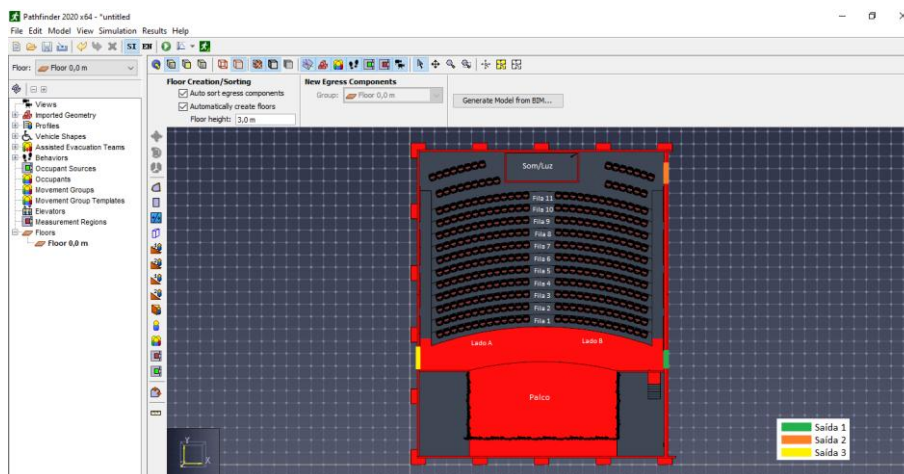


Figura 2. Software com tela inicial na vista de cima do projeto analisado

Para as simulações de evacuação, foram impostos os parâmetros e condições de acordo com a Tabela 1. Estes parâmetros deliberados têm o objetivo de permitir o estudo de um mesmo cenário com variação da velocidade média da população, simulando a variação da faixa etária e mobilidade do público, e a lotação máxima da edificação.

Tabela 1. Detalhamento das simulações

Simulação	Velocidade (m/s)	Lotação (pessoas)	Condição da lotação do teatro	Dimensões das saídas de emergência do teatro (m)
1	0,75 a 2,00	350	Lotação 100%	1,20, 1,70 e 1,50
2	0,75 a 2,00	533	Lotação 100% / + 2 p/m ² corredor	1,20, 1,70 e 1,50
3	0,70	350	Lotação 100%	1,20, 1,70 e 1,50
4	0,70	533	Lotação 100% / + 2 p/m ² corredor	1,20, 1,70 e 1,50
5	0,75 a 2,00	350	Lotação 100%	1,20 e 1,5
6	0,75 a 2,00	350	Lotação 100%	2,40 e 2,40

As velocidades foram deliberadas considerando os dados de Seito (2008), que citou que pedestres de acordo com seu sexo, idade e condições, andam em velocidade variadas entre 0,75 e 1,70 m s⁻¹ e correm aproximadamente a 3,60 m s⁻¹. Segundo estudos de Pires e Cordeiro (2018), um fator significativo para o sucesso do abandono é a calma, sem fazer com que a evacuação fique tumultuada. Visto isso, as simulações 1, 2, 5 e 6 utilizaram velocidades de 0,75 a 2,00 m s⁻¹, pois foi considerado público adulto com maior habilidade e rapidez, porém sem descartar a diminuição da velocidade por conta do contato físico e dos gargalos. Já para as simulações 3 e 4, a velocidade foi reduzida com o intuito de representar uma população de maior idade, e conseqüentemente uma diminuição da agilidade para a locomoção.

Foram consideradas também duas diferentes quantidades de população, 350 e 533 pessoas. A condição da lotação ideal do Teatro, é de 350 pessoas. A população de 533 pessoas, considerou a situação fictícia de desrespeito da lotação máxima indicada, na qual considera 100% da população permitida somadas a duas pessoas por metro quadrado nas áreas dos corredores laterais e centrais.

Outra condição simulada foi a das saídas de emergência do teatro onde foram consideradas nas primeiras quatro simulações a condição real da edificação existente e para as

simulações 5 e 6 foi analisada a situação caso uma das saídas fosse retirada, o que ocasiona a redução da largura disponível para a saída, simulação 5, e para a simulação 6, uma das saídas retiradas, porém as restantes ampliadas.

No *software Pyrosim* foi executada a simulação de um foco de incêndio localizado no palco do teatro, a 200 °C, e a fumaça gerada como resultado dessa queima.

Por fim, uma vez que obtidos os resultados das simulações propostas, os dados extraídos dos *softwares* foram compilados e analisado quali e quantitativamente.

Resultados e discussões

A partir da aplicação do *software Pathfinder*, com os resultados encontrados foi possível analisar os cenários propostos nas seis simulações realizadas. Foram extraídos dados como o tempo para a evacuação completa, quantidade de pessoas por saída e o fluxo de cada uma, a densidade por todo o teatro, o ocupante que fez o abandono do local no maior e menor tempo e em maior e menor distância. Além da disponibilização de gráficos que plotam o tempo pelo número de ocupantes que já saíram e ainda estão no local.

Na Tabela 2 são apresentados os tempos, em minutos e em segundos, para a evacuação do teatro. Este tempo de evacuação considera o tempo transcorrido do início do incêndio até o último ocupante da edificação sair da mesma.

Tabela 2. Tempo de evacuação

Simulação	Tempo Total (s)	Tempo Total (min)
1	81,30	1,355
2	102,50	1,708
3	142,30	2,372
4	167,30	2,788
5	127,30	2,122
6	99,00	1,650

Assim pode ser observado que a simulação com menor tempo foi a simulação 1 com 81,30 segundos; o maior tempo ocorreu na simulação 4 com 167,30 segundos, e dentre os tempos máximos e mínimos das simulações ocorre a diferença de 86,00 segundos. No

entanto, mesmo com o menor tempo dentre as simulações, a simulação 1 apresentou densidade de até 3 ocupantes m^{-1} e gargalos com aglomerado nos corredores laterais e centrais, Figura 3.

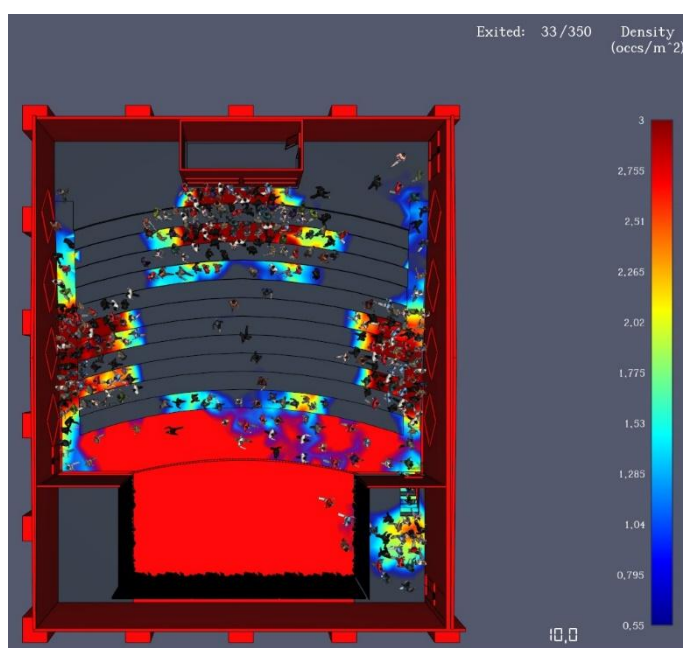


Figura 3. Simulação 1 em 10 segundos

O segundo menor tempo é o da simulação 6, com 99 segundos, que tem os mesmos parâmetros da simulação 1, porém apesar de ter a disponibilidade de uma saída a menos possui 0,4 m a mais no somatório de largura das aberturas para saída. Isto mostra a importância da distribuição das saídas de emergência em uma edificação e não apenas o somatório das larguras destas aberturas. Este aumento de, aproximadamente, 18 segundos, representa 21,77% do tempo de evacuação e em uma ocorrência real pode significar a diferença em um ocupante estar seguro ou não. Além disto, o *software* mostra que na simulação 6 no tempo de 81,3 segundos havia ainda no interior da edificação 33 pessoas, Figura 4, que representam quase 10% da população da edificação e esta estará em risco por maior tempo.

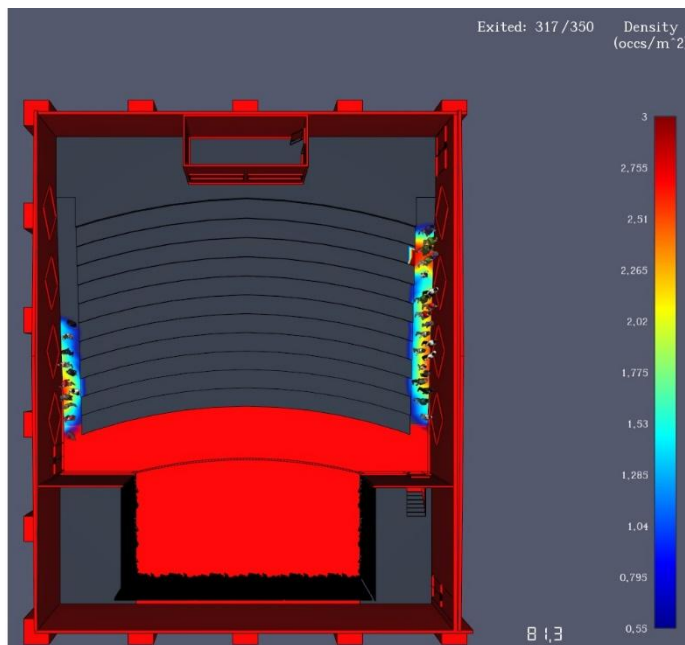


Figura 4. Simulação 6 em 81,3 segundos

A simulação 2 teve acréscimo de 26,07% em comparação à primeira, sendo que este percentual corresponde a 21,2 segundos. Ou seja, com aumento de 183 pessoas, nas mesmas condições de velocidade e largura de saída, foram necessários 20 segundos a mais para que todos pudessem sair do teatro.

As simulações 3 e 5, ambas com 350 pessoas, tiveram tempos de 142,30 e 127,30 s respectivamente, ou seja, diferença entre elas de, exatamente, 15 segundos. A simulação 5 apresentou menor tempo de evacuação em relação à terceira, e isto chama atenção, pois apesar da simulação 5 possuir uma saída a menos que representa a redução de 38,64% da largura total das aberturas destinadas às saídas, houve o acréscimo de velocidade de 0,7 para 0,75 a 2,00 m s⁻¹ e assim, este fator mostrou ter impacto maior no resultado.

Na Tabela 3 são apresentadas as quantidades de pessoas que evacuaram por cada saída do teatro. Nesta análise é importante lembrar que na simulação, a determinação da saída que será utilizada por cada indivíduo visa o menor tempo de fuga. Assim, em cada simulação o comportamento dos indivíduos é distinto, pois há as variáveis de lotação e condições das saídas além dos parâmetros de fila, velocidade, etc.

Tabela 3. Quantidade de pessoas por saída

Simulação	Saída 1 (pessoas)	Saída 2 (pessoas)	Saída 3 (pessoas)	Total (pessoas)
1	138	107	105	350
2	171	150	212	533
3	141	112	97	350
4	172	149	212	533
5	166	-	184	350
6	198	-	152	350

Analisando a Tabela 3, pode-se observar entre as quatro primeiras simulações, menor utilização da saída 2, posicionada no fundo do lado direito do teatro. Nas simulações 2 e 4, onde há 533 pessoas, automaticamente a saída 2 é mais utilizada, mas ainda assim menos que as demais. Por esta razão, a saída 2 foi a selecionada para ser retirada para as simulações 5 e 6. Dentre as saídas 1 e 3 há oscilação da mais escolhida, porém estão posicionadas paralelas entre si e entre o palco e os acentos da plateia, em uma posição central do teatro. A posição centralizada das saídas de emergência confere menor percurso para a saída do indivíduo.

Na Tabela 4 tem-se os valores de máxima, mínima, média e o desvio padrão da distância percorrida pela população até a evacuação. Em análise da média e desvio padrão, todas as simulações atendem com segurança o caminhamento máximo permitido pela IN 9/CBMSC (2020). Sendo o caminhamento máximo autorizado de 50 metros para locais de reunião de público com ou sem concentração, com mais de uma saída e sem chuveiros automáticos, que é o caso do local escolhido para o estudo. Porém, ao analisar a distância máxima percorrida por um ocupante em cada simulação, em três simulações, 2, 5 e 6, houve distância percorrida acima do permitido em norma. Avaliando estas simulações é observado que as duas simulações das quais tiveram maiores distâncias percorridas, simulações 5 e 6, foram justamente as duas com uma saída a menos. Fato que afirma a necessidade de saídas planejadas, com dimensionamento e local adequado, pois esta análise mostrou que não é apenas a largura das saídas que impacta, mas também a disposição destas saídas no local.

Já as simulações com as menores distâncias foram as com menor velocidade, isso ocorre pois com menor velocidade há menor aglomerado ou concentração de pessoas, e isso faz

com que os ocupantes do local não optem por ir para outras saídas, tendo maior assertividade na saída da edificação.

Tabela 4. Distância percorrida, em metros

Simulação	Máxima (m)	Mínima (m)	Média (m)	Desvio Padrão (m)
1	45,2	1,3	18,1	9,0
2	54,7	0,5	16,2	10,0
3	41,5	1,3	17,7	9,0
4	42,2	0,5	15,2	9,0
5	82,5	3,7	21,5	11,9
6	69,0	2,1	19,6	11,3

Na Tabela 5 tem-se os valores de máxima, mínima, média e desvio padrão do tempo para a evacuação da população. Segundo Gouveia e Etrusco (2002), o tempo para a evacuação segura é determinado através de alguns indicadores, tais como a altura do colchão de fumaça a partir do teto, a distância da visibilidade e a temperatura média da fumaça. Portanto, destaca-se a importância do conhecimento dos materiais utilizados na construção do local, sabendo que a reação de cada material é diferente na presença do fogo. Por isso, é preocupante o aumento do tempo de evacuação dentre as simulações, a amplitude entre os tempos do primeiro e do último ocupante a evacuar o ambiente mostra a desigualdade entre os ocupantes e o risco à vida dos últimos a evacuarem o local, visto que, segundo dados de Ferreira (2019), o fenômeno de *flashover* normalmente ocorre por volta dos 90 segundos.

Tabela 5. Tempo de evacuação, em segundos

Simulação	Máximo (s)	Mínimo (s)	Média (s)	Desvio Padrão (s)
1	81,0	2,2	33,9	22,0
2	102,5	1,1	47,1	28,2
3	142,2	2,4	67,2	37,5
4	167,1	1,3	74,4	44,5
5	127,0	2,7	56,7	33,3
6	98,9	2,0	40,5	24,5

Analisando os resultados por indivíduos foram observados, nas seis simulações, que o indivíduo que percorreu a maior distância não é o mesmo que despense o maior tempo para alcançar a saída. Ao analisar a localização inicial dos ocupantes que obtiveram maiores tempos e distancias, notou-se que eles estavam em locais com obstáculos que dificultavam o

acesso para as saídas, como em assentos centrais de suas respectivas filas ou em áreas de formação de congestionamento. Por outro lado, as pessoas que a princípio estavam nas laterais de suas filas ou em locais próximos às portas de saída tiveram tempos menores em comparação às outras.

Em todos os casos, percebeu-se a concentração de pessoas e formação de filas com alta densidade próximo aos locais de alteração de direção e perto das saídas de emergências do teatro, gerando aglomeração e contato físico entre os ocupantes, provocando conseqüentemente a diminuição da velocidade do escoamento. É possível visualizar essa aglomeração na Figura 5, ao observar o fundo e os corredores laterais.

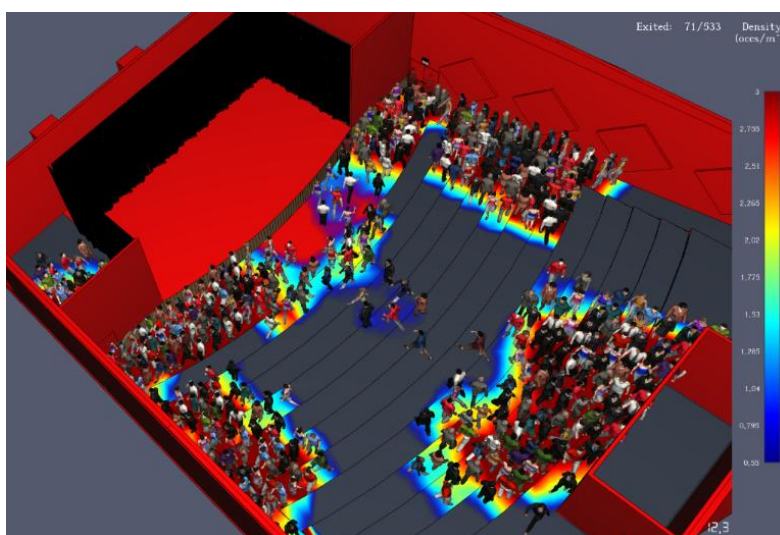


Figura 5. Formação de aglomeração de pessoas

As simulações com maiores tempos de evacuação foram as com velocidades menores, onde foram considerados público de maior faixa etária, que tem a tendência de menor agilidade nos movimentos, ou público com mobilidade reduzida por outros fatores além da idade. As simulações 1 e 3 e a 2 e 4 tiveram como única diferença a velocidade, porém devido a esse fato, as características da evacuação foram discrepantes. Em média, a diferença entre o tempo total do abandono foi acima de 1 minuto, sendo considerado um intervalo elevado em caso de emergências, novamente tendo em vista os 90 segundos do fenômeno de *flashover*.

Na Figura 6, foi elaborado em ordem crescente do tempo total para evacuação em cada simulação, em minutos. Com a análise do gráfico compreende-se que o fator que mais

interferiu no tempo da evacuação foi a velocidade em que os ocupantes se movimentam. Portanto, assumiu-se que para melhoria na segurança do público em eventos, a lotação máxima permitida deveria variar de acordo com a mobilidade e/ou faixa etária do público presente. Assim, a lotação deveria ser dimensionada de acordo com cada evento a ser promovido e o público ao qual ele se destina.

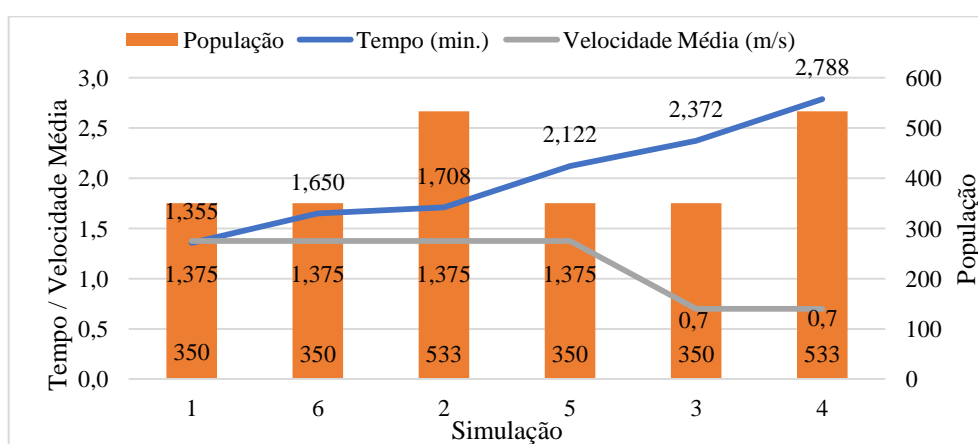


Figura 6. Comparação entre os dados e resultados das simulações

Além disso, foram realizadas análises comparativas entre as simulações com menor e maior tempo de evacuação, simulações essas com a mesma lotação de público, com base nos gráficos gerados pelo *Pathfinder*. Através da figura 6, percebe-se o aumento no tempo de evacuação de acordo com a redução da velocidade.

Representados pelas Figuras 7 e 8, tem-se os gráficos que representam por tempo, o número de ocupantes que conseguiram cumprir com suas evacuações nas simulações 1 e 3.

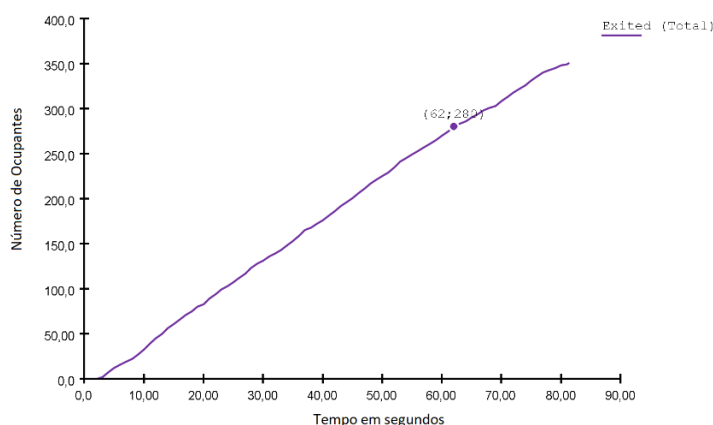


Figura 7. Saída dos ocupantes, por tempo na simulação 1

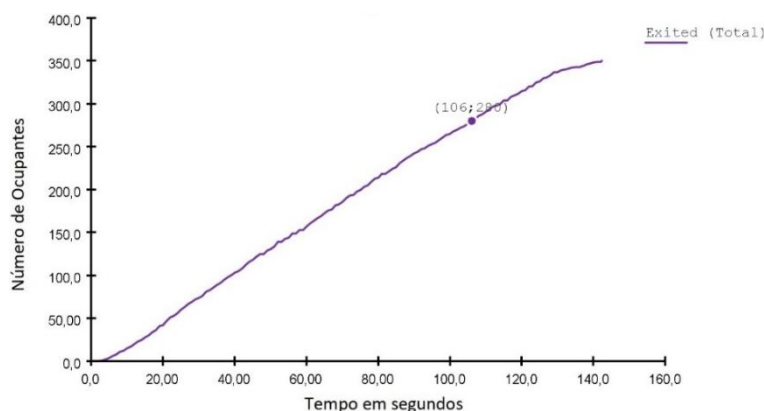


Figura 8. Saída dos ocupantes, por tempo na simulação 3

Para a primeira simulação, com 350 ocupantes foi necessário tempo de 81,3 segundos, para 80% desta população ou 280 pessoas evacuar foram utilizados 62 s. Já para a demonstração 3 com o mesmo número de ocupantes, o tempo preciso para a desocupação de 80% do público foi de 106 segundos, acréscimo este superior a 70%. Esse aumento é relacionado à redução da velocidade dos ocupantes da simulação 3. Esta análise com ênfase nas simulações 1 e 3, com mesmo público e velocidades distintas, reforça a tese considerada na análise do gráfico da Figura 6.

As Figuras 9 e 10, apresentam o fluxo de evacuação da população, por tempo, de cada saída do teatro nas simulações 1 e 3, respectivamente. Através desses novos gráficos observou-se que a simulação 1 apresenta início da evacuação ascendente na saída 2 antes dos 10 segundos. As saídas 1 e 3 despontam após os 10 segundos. As saídas 1 e 2 mantêm o fluxo de duas pessoas por segundo por quase todo o tempo da evacuação, enquanto a saída 3 mantém fluxo em torno de 1,5 pessoas por segundo. O fluxo de pessoas por tempo é uma forma de mensurar o acúmulo de ocupantes na saída. Na simulação 3 a saída 2 também desponta dentre as saídas como a primeira a atingir o maior fluxo de pessoas por tempo; no entanto, o fluxo de pessoas por segundo é consideravelmente menor, em torno de 1 pessoa por segundo ou menos, o que representa menor aglomerado, porém, maior tempo total de evacuação, pois a velocidade dos ocupantes é menor.

A saída 2 que despontou como a primeira opção para os ocupantes do teatro é a primeira a ter queda do fluxo de evacuação próximo aos últimos 20 segundos de evacuação.

Isto ocorre, provavelmente, porque a população próxima a essa porta iniciou a evacuação antes e, portanto, terminou primeiro.

As Figuras 9 e 10 mostram que a velocidade da população durante a evacuação tem grande impacto na mesma. Indicando que apesar de velocidades maiores provocarem maior aglomerado e risco a acidentes durante a evacuação, ela implica em menor tempo de evacuação. Esta análise é importante, pois eventos onde há público com mobilidade reduzida, seja ela por quaisquer fatores, deve ser repensada a lotação do mesmo.

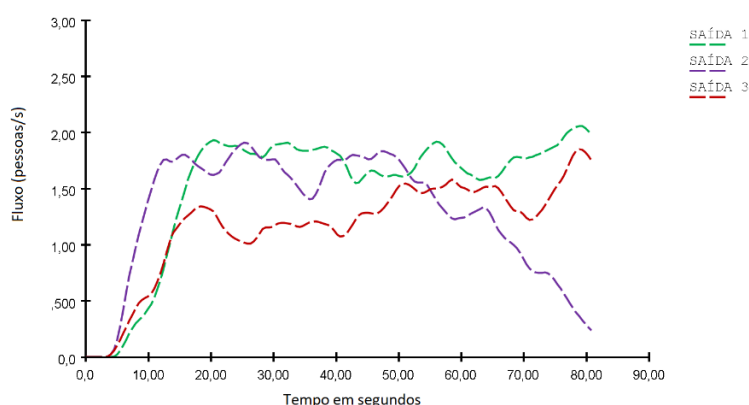


Figura 9. Fluxo das saídas na simulação 1

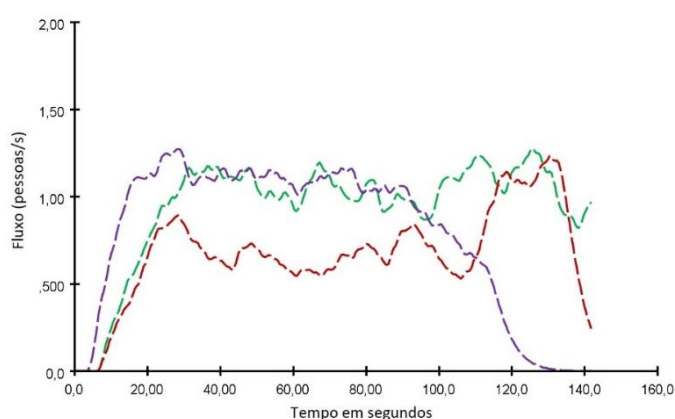


Figura 10. Fluxo das saídas na simulação 3

Analisando os dados obtidos no estudo, ocorreu um questionamento: com quantas pessoas, com a velocidade de $0,70 \text{ m s}^{-1}$, uma simulação alcançaria o tempo máximo de evacuação da simulação 1, 81,3 segundos? Para responder este questionamento, foi realizada a sétima simulação de evacuação. E ao serem simuladas essas variáveis, percebeu-se que a

quantidade de pessoas para que os tempos das simulações fossem iguais precisaria ser reduzida pela metade, 175 ocupantes.

O gráfico da Figura 12 representa por tempo, em segundos, a quantidade de pessoas que saíram do teatro na simulação 7. É observado que 50% da população conseguiu sair nos primeiros 37 s, ou seja, até os 37 segundos 87 pessoas haviam evacuado, restando 44,3 segundos para a mesma quantidade de pessoas evacuar.

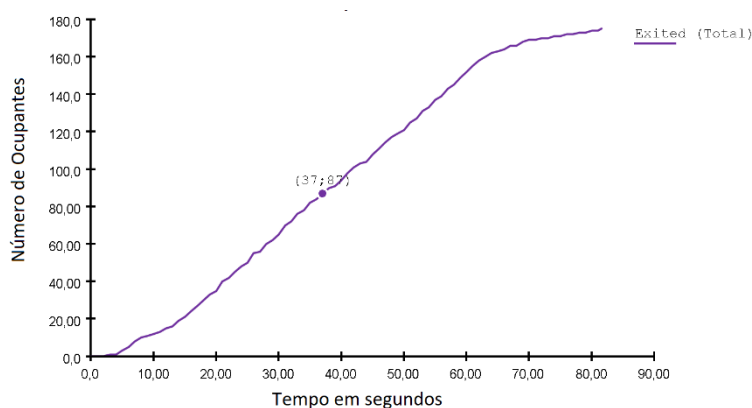


Figura 12. Número da saída de ocupantes por tempo na simulação 7

No *software PyroSim* foi simulado um incêndio de 170 segundos iniciado no palco com temperatura de queima a 200 °C. A partir dos dados inseridos no programa, obteve-se a simulação do alastramento da fumaça por todo o local, conforme mostra a Figura 13, a fumaça dispersa pelo teatro a partir dos 5,4 segundos após o início do fogo. Isto é preocupante, pois é importante lembrar a simulação com a menor duração foi de 81,3 segundos, ou seja, 93,96% do tempo da evacuação, a mais rápida, ocorrerá na presença de fumaça espalhada pelo teatro.

Segundo dados da Empresa BUCKA (2017), mais de 75% das mortes em incêndios são causadas por conta da inalação da fumaça e gases tóxicos, esta fumaça causa tantos danos quanto o fogo em si, pois poderá intoxicar o público por conter componentes tóxicos além de queimar as vias respiratórias pela temperatura que tem. Os danos causados pela fumaça costumam perdurar além da data do incêndio, como no episódio da Boate Kiss, 2013, em que resultou 235 mortes no dia do incêndio e 7 mortes nos dias seguintes por intoxicação e queimaduras das vias aéreas, além das mais de 100 pessoas que necessitaram de tratamentos

especializados pelo efeito a longo prazo da fumaça inalada (BBC, 2013). E segundo Previdelli (2021), 90% dos corpos foram encontrados nos banheiros, por conta da sinalização de abandono de local ineficiente, falta de rotas de fugas adequadas e mau dimensionamento das saídas de emergência.

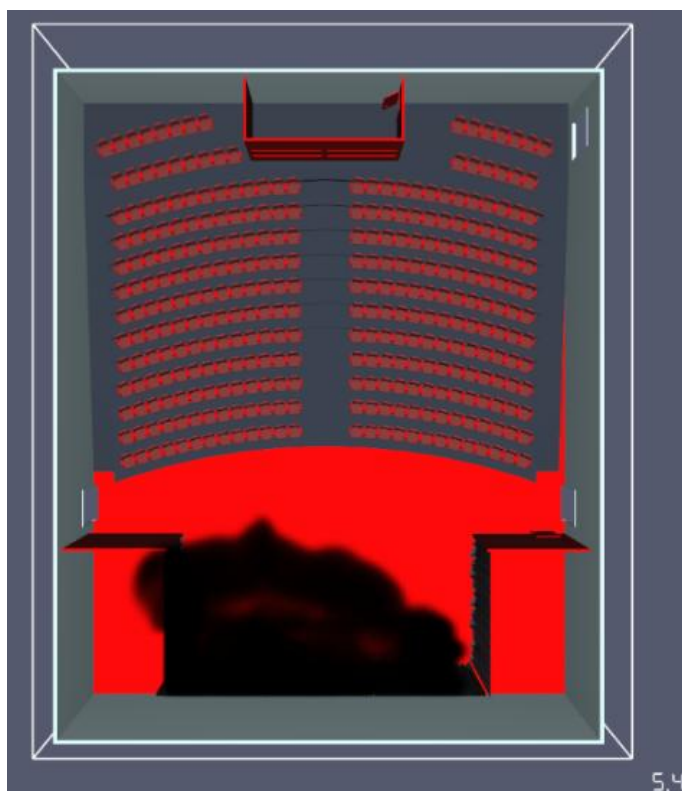


Figura 13. Simulação da fumaça pelo Teatro em 5,4 segundos

As Figuras 14 e 15 representam a visão do indivíduo “149” no mesmo local do teatro para as simulações 1 e 4 respectivamente. O indivíduo “149” tinha posição inicial em uma das fileiras centrais do teatro, nas duas simulações analisadas.

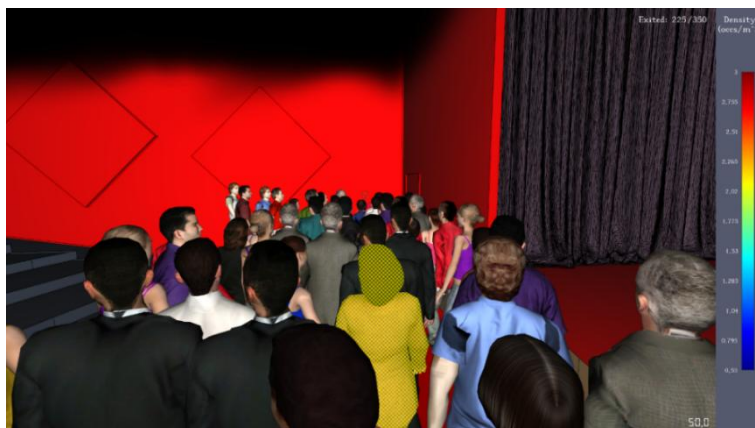


Figura 14. Ocupante “149” na simulação 1 em 50 segundos



Figura 15. Ocupante “149” na simulação 4 em 85 segundos

Na primeira simulação, Figura 14, no tempo de 50 segundos, o indivíduo “149” está posicionado em frente ao palco visualizando a “saída 1”, a sua frente. Nesta figura, foi possível constatar que a fumaça distribuída pelo cômodo está junto ao teto do teatro, com certa distância do público.

Na quarta simulação, para o indivíduo “149” chegar na mesma posição despense 85 segundos, 35 a mais que na simulação 1, ou seja, 35 segundos a mais em um ambiente de risco à vida e pânico. Na Figura 15, em comparação a Figura 14, foi observada maior concentração de público, observada na fila maior a frente do indivíduo “149” para o mesmo chegar até a saída, além dos 35 segundos a mais para chegar até àquela posição, maior concentração de fumaça observada pela maior altura da camada de fumaça junto ao teto e maior proximidade da cabeça do público. Com a simulação conjunta da fumaça e evacuação



do público foi analisada a situação do indivíduo “149” nas simulações 1 e 4 e ficou visível o comprometimento do ambiente com relação a quantidade de fumaça presente no mesmo.

Conclusões

Com o objetivo de simular e analisar situações reais de pânico e incêndio com circunstâncias distintas de lotação no Teatro Municipal de Nova Veneza – SC, este estudo possibilita afirmar que com a implementação de *performance-based design* em projetos preventivos contra incêndio tem-se resultados de maior precisão, nos quais utilizam parâmetros para o estudo tanto da propagação do fogo como também o estudo do comportamento humano em situação de pânico.

O *software* permite analisar os resultados apresentados de forma simples e dinâmica que facilitam a compreensão do usuário analisar as condições finais.

Após as simulações realizadas, pode-se afirmar que o fator com maior impacto no tempo total de abandono do local é a velocidade da locomoção das pessoas presentes e dada essa razão, indica-se ter maior cautela ao admitir a quantidade de pessoas máxima permitida em locais fechados com concentração de público. A próxima variável que interfere nos resultados é a adequada distribuição das saídas de emergência pelo ambiente, visto que, somente uma saída com abertura não terá tanta eficiência por conta do fluxo de pessoas, e por fim, a quantidade de pessoas. Ou seja, o estudo da dinâmica da evacuação deve levar em conta não somente a quantidade de pessoas no local, mas sim todos os fatores relacionados ao comportamento humano.

Além disso, um outro fator de importância para o progresso significativo na elaboração de projetos preventivos seria a implementação da utilização dos projetos baseados em desempenho com auxílio de *softwares* simuladores de situações reais, bem como o amadurecimento da engenharia de segurança contra incêndio e também cadeiras específicas no assunto para os cursos de engenharia e arquitetura.



Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

BBC. **Brazil nightclub fire in Santa Maria kills 233**. 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-21220308>. Acesso em: 9 jun. 2021.

BUCKA (org.). **OS PERIGOS DA FUMAÇA DE INCÊNDIO**. 2017. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/os-perigos-da-fumaca-de-incendio/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 1 - PARTE 2: PROCEDIMENTOS ADMINISTRATIVOS SISTEMAS E MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO**. 2 ed. S. L.: Cbmesc, 2021. 66 p. Disponível em: https://dsci.cbm.sc.gov.br/images/arquivo_pdf/IN/Em_vigor/IN_1_-_parte_2_-_ps_NT_06_Abr.pdf. Acesso em: 9 jun. 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 9: SAÍDAS DE EMERGÊNCIA**. 3 ed. S. L.: Cbmesc, 2020. 57 p. Disponível em: https://dsci.cbm.sc.gov.br/images/arquivo_pdf/IN/Em_vigor/IN-9---18DEZ20.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

CUOGHI, R. de S. **Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2006. 239 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-02042008-180545/publico/Dissertacao_Ricardo_Cuoghi_Revisado_apos_Defesa.pdf. Acesso em: 02 jun. 2021.

FERREIRA, M. **O Que é Projeto Baseado em Desempenho?** 2020. Disponível em: <https://elfire.com.br/o-que-e-projeto-baseado-em-desempenho/>. Acesso em: 02 jun. 2021.

FERREIRA, M. **Projeto Baseado em Desempenho SENABOM 2019 Marcio Ferreira**. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZMa4nyvii0w&t=2038s>. Acesso em: 02 jun. 2021.

GOUVEIA, A. M. C.; ETRUSCO, P. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, p. 257-261, 22 out. 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000400005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 out. 2020.

INSTITUTO SPRINKLER BRASIL (Brasil) (ed.). **Estatísticas 2019**. Disponível em: <https://sprinklerbrasil.org.br/estatisticas-2019/>. Acesso em: 8 out. 2020.

MATTEDI, D. L. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de segurança contra incêndio baseado em desempenho**. 2005. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em:



https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3078/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Contribui%C3%A7%C3%A3oEstudoProcesso.PDF. Acesso em: 28 set. 2020.

PIRES, R. R.; CORDEIRO, C. C. M. Simulação de evacuação emergencial: estudo de caso na Escola Municipal de Educação Básica. **E&S Engineering and Science**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 63-76, 2018. DOI: 10.18607/ES201877423. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/7423>. Acesso em: 3 jun. 2021.

PREVIDELLI, F. **NESTE DIA, EM 2013, O INCÊNDIO DA BOATE KISS ABALAVA O BRASIL**: durante o triste episódio, mais de 200 pessoas perderam suas vidas na tragédia que é considerada a segunda maior em números de vítimas num incêndio. Durante o triste episódio, mais de 200 pessoas perderam suas vidas na tragédia que é considerada a segunda maior em números de vítimas num incêndio. 2021. Disponível em: <https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/reportagem/incendio-da-boate-kiss-completa-sete-anos-sem-o-julgamento-dos-reus-e-o-pagamento-de-indenizacao-para-vitimas-e-familiares.phtml>. Acesso em: 15 jun. 2021.

PROJETO Baseado em Desempenho SENABOM 2019 Marcio Ferreira. São Luís: Senabom, 2019. Color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZMa4nyvii0w&t=2038s>. Acesso em: 02 jun. 2021.

SEITO, A. I. **A segurança contra incêndio no brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. Disponível em: http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/portalc/_publicacoes/books/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf. Acesso em: 9 out. 2020.

THE Effect of Fires on People, Property and the Environment. Intérpretes: Dr. Jim Milke, Dr. Erica Kuligowski, Mr. Eric Rosenbaum, Mr. Chris Jelenewicz.. S.I.: Universidade de Maryland, College Park, 20--. (840 min.), son., color. Disponível em: <https://www.coursera.org/learn/fire-effect>. Acesso em: 10 set. 2020.