



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Felipe de Pires Nunes

**A INTERFERÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA
NA EVACUAÇÃO DE LOCAIS DE REUNIÃO DE GRANDE PÚBLICO**

Florianópolis
2020

Felipe de Pires Nunes

**A INTERFERÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO DAS SAÍDAS DE
EMERGÊNCIA NA EVACUAÇÃO DE LOCAIS DE REUNIÃO DE GRANDE
PÚBLICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. João Carlos Souza, Dr.

Florianópolis
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nunes, Felipe

A interferência do projeto arquitetônico das saídas de emergência na evacuação de locais de reunião de grande público / Felipe Nunes ; orientador, João Carlos Souza, 2020.

119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. evacuação. 3. simulação computacional. 4. emergência. 5. projeto. I. Souza, João Carlos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Felipe de Pires Nunes

**A INTERFERÊNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO DAS SAÍDAS DE
EMERGÊNCIA NA EVACUAÇÃO DE LOCAIS DE REUNIÃO DE GRANDE
PÚBLICO**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. João Carlos Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profª. Manuela Lalane Nappi, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Leonardo Varella, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. João Carlos Souza, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2020.

RESUMO

A segurança contra incêndios é algo de extrema importância quando se trata de locais de reunião de grande público, pois as consequências de um sinistro podem ser minimizadas com um bom planejamento de segurança, a se iniciar pela concepção do projeto arquitetônico das saídas de emergência das edificações. Para um bom planejamento e uma correta elaboração do projeto arquitetônico das saídas de emergência se faz necessário o entendimento do comportamento humano do indivíduo e das multidões em situações de emergência, das legislações e normas vigentes que dão as determinações sobre os projetos de saídas de emergência e da segurança na evacuação de locais em situações de emergência. Com o entendimento necessário sobre estes assuntos, esta pesquisa consiste na realização de diversos testes por simulação computacional de evacuação em diversos cenários com o objetivo de identificar quanto e como as alterações dos projetos das saídas de emergência impactam no tempo de evacuação dos locais de reunião de grande público, obtendo resultados que possibilitam concluir quais os tipos de alterações projetuais nas saídas de emergência causam maior impacto no tempo de evacuação e porquê. Isto proporcionou a elaboração de sugestões para projetos de saídas de emergência, indicando larguras mínimas a serem utilizadas e melhores formas de posicionamento das saídas de emergência, que impactam em melhorias significativas no tempo total de evacuação de uma edificação.

Palavras-chave: evacuação, simulação computacional, emergência, projeto.

ABSTRACT

Fire safety is extremely important when it comes to meeting places for the general public, as the consequences of an accident can be minimized with good safety planning, starting with the design of the architectural design of the emergency exits of buildings. For a good planning and a correct elaboration of the architectural design of the emergency exits, it is necessary to understand the human behavior of the individual and the crowds in emergency situations, of the laws and norms in force that give the determinations on the projects of emergency exits and safety in evacuating places in emergency situations. With the necessary understanding on these subjects, this research consists of carrying out several tests by computer simulation of evacuation in different scenarios in order to identify how much and how changes in emergency exit projects impact evacuation time from meeting places. large public, obtaining results that make it possible to conclude which types of design changes in emergency exits have the greatest impact on evacuation time and why. This provided the creation of suggestions for emergency exit projects, indicating minimum widths to be used and better ways of positioning emergency exits, which impact on significant improvements in the total evacuation time of a building.

Keywords: evacuation, computer simulation, emergency, project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação dos resultados de Fruin, Togawa e Green Guide.....	41
Figura 2 - Comparação dos resultados da simulação (Legion) com o Green Guide.	42
Figura 3 - Comparação dos resultados da simulação (Legion) com Fruin.....	42
Figura 4 - Distribuição das velocidades observadas na Liverpool Street Station	43
Figura 5 - Comparação dos dados obtidos na Liverpool Street Station com os dados de Togawa, Fruin e Green Guide	43
Figura 6 - Comparação dos dados obtidos na Liverpool Street Station, com a simulação realizada no Legion e o dados do Green Guide.....	44
Figura 7 - Fluxograma da pesquisa.....	51
Figura 8 - Estudo de caso 1	54
Figura 9 - Estudo de caso 2	55
Figura 10 - Estudo de caso 3	56
Figura 11 - Distribuição velocidade de deslocamento no Cenário 1 (vermelho 0,5 m/s, amarelo 1,0 m/s, verde 1,5 m/s)	59
Figura 12 - Cenário 1.....	60
Figura 13 - Gráfico de tempo de evacuação, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 1.....	61
Figura 14 - Cenário 2.....	62
Figura 15 - Cenário 3.....	63
Figura 16 - Cenário 4.....	64
Figura 17 - Cenário 5.....	65
Figura 18 - Cenário 6.....	67
Figura 19 - Cenário 7.....	68
Figura 20 - Cenário 8.....	69
Figura 21 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 8, demonstrando que maioria dos ocupantes opta por evacuar pela saída de mais rápida visualização.	70
Figura 22 - Cenário 9.....	71
Figura 23 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 9, demonstrando que maioria dos ocupantes do cenário optam por evacuar pela saída de mais rápida visualização.	71
Figura 24 - Cenário 10.....	72
Figura 25 - Cenário 11.....	73

Figura 26 - Cenário 12.....	74
Figura 27 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 12, demonstrando uma grande quantidade de ocupantes tentando evacuar o local pela saída de mais fácil visualização.	74
Figura 28 - Cenário 13.....	75
Figura 29 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 13, demonstrando que neste caso não houve sobrecarga em uma saída.....	75
Figura 30 - Cenário 14.....	76
Figura 31 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 14, demonstrando grande parte dos ocupantes optando por evacuar pela saída de mais rápida visualização.	77
Figura 32 - Cenário 15.....	78
Figura 33 - Cenário 16.....	79
Figura 34 - gráfico da relação do tempo de evacuação com a distância entre as saídas considerando boa e má visualização das saídas.....	81
Figura 35 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 6, com aumento de 25% na passagem entre o ambiente interno e as saídas e 25% na largura das saídas, demonstrando que os ocupantes que estavam no interior do ambiente interno conseguem evacuar de forma mais rápida por bloquearem o fluxo dos ocupantes que se deslocam a partir das laterais do cenário.....	82
Figura 36 - Cenário 17.....	84
Figura 37 - Gráfico do tempo total de evacuação, gerado pelo Pathfinder, do cenário 17.	84
Figura 38 - Planta Boate Kiss.....	85
Figura 39 - Cenário 18.....	86
Figura 40 - Gráfico de densidade gerado pelo pathfinder para o cenário 18, demonstrando o bloqueio em virtude das aglomerações dos ocupantes do cenário nas passagens anteriores as saídas.	87
Figura 41 - Cenário 19.....	88
Figura 42 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, com indicação das direções dos fluxos, para o cenário 19, demonstrando que o fluxo no sentido oeste-leste bloqueia o fluxo no sentido sul-norte.....	88
Figura 43 - Cenário 20.....	89

Figura 44 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, com indicação das direções dos fluxos, para o cenário 20, demonstrando que parte dos ocupantes ficam presos (círculo vermelho) pelo fluxo no sentido leste-oeste bloquear o fluxo no sentido sul-norte. ..	90
Figura 45 - Cenário 21.....	91
Figura 46 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, demonstrando a redução de aglomeração no ambiente da esquerda, para o cenário 21.....	91
Figura 47 - Cenário 22.....	92
Figura 48 - Cenário 23.....	93
Figura 49 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, demonstrando uma saída vazia enquanto a outra tem 150 ocupantes para evacuar, para o cenário 23.....	93
Figura 50 - Cenário 24.....	94
Figura 51 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, com indicação divisão da multidão em duas partes semelhantes, para o cenário 21.....	95
Figura 52 - Cenário 25.....	96
Figura 53 - Cenário 26.....	96
Figura 54 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 25, demonstrando a divisão do número de ocupantes em cada saída.....	97
Figura 55 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 26.	98
Figura 56: Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 17 com saídas dimensionadas 25% acima das dimensões exigidas nas normas, demonstrando a aglomeração da multidão causada pelo bloqueio gerado na passagem que fica anterior as saídas de emergência.....	100
Figura 57 - Cenário 17 com as dimensões das passagens da rota de fuga e das saídas de emergência aumentadas em 25%.....	101
Figura 58 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para cenário 25, ao tempo de 15 segundos de evacuação demonstrando a sobrecarga nas saídas gerada pelo aumento de 25% na largura das passagens das rotas de fuga.....	102
Figura 59 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações no posicionamento das saídas de emergência.....	104
Figura 60 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações na quantidade total de saídas de emergência.....	105
Figura 61 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações na largura total de saídas de emergência.	106

Figura 62 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações na largura da rota de fuga. 107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico dos principais incêndios em locais de reunião de público no mundo	15
Tabela 2 – Velocidade e fluxos médios adotados no Japão	39
Tabela 3 – Variação do tempo de evacuação, em segundos, para cada hipótese testada	108

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	18
1.1.1	Incêndio Gran Circus Norte-Americano	19
1.1.2	Incêndio Caneco Mineiro	19
1.1.3	Incêndio Space Club	20
1.1.4	Incêndio Boate Kiss	20
1.2	PERGUNTA DA PESQUISA	21
1.3	OBJETIVOS	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
1.4	JUSTIFICATIVA	22
1.5	RELEVÂNCIA DA PESQUISA	23
1.6	LIMITAÇÃO DA PESQUISA	23
1.7	ESTRUTURA DA PESQUISA	24
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1.	O COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA....	25
2.2.	A IMPORTÂNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO NA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....	29
2.3.	OS PROJETOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS.....	32
2.3.1.	Lei Federal Nº 13.425/2017 “Medidas de Prevenção e Combate a Incêndio e a Desastres em Estabelecimentos, Edificações e Áreas De Reunião De Público”	33
2.3.2.	NBR 9077/2001 “Saídas de Emergencia em Edifícios”	33
2.3.3.	NBR 9050/2015 “Acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos”	34
2.3.4.	IN/DAT/CBMSC 009/2014 “Sistema de Saída de Emergência”	35
2.3.5.	IT11/2019 “Saídas de Emergência”	36
2.4.	A SEGURANÇA NA EVACUAÇÃO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO	37
2.5.	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO DE EDIFICAÇÕES..	45
2.5.1.	Pathfinder	48
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	49
3.1.	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	51

3.2.	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	52
3.3.	DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO	53
3.4.	DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES A SEREM TESTADAS	56
3.5.	DEFINIÇÃO DO SOFTWARE UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES	57
3.6.	TESTES UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	57
4.	RESULTADOS	60
4.1.	ESTUDO DE CASO 1	60
4.1.1.	Saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	60
4.1.2.	Alterações no posicionamento das saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	61
4.1.3.	Alterações no número total de saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	64
4.1.4.	Alterações no dimensionamento das saídas de emergência	65
4.2.	ESTUDO DE CASO 2	67
4.2.1.	Saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	67
4.2.2.	Alterações no posicionamento das saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	68
4.2.3.	Alterações no número total de saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	78
4.2.4.	Alterações no dimensionamento das saídas de emergência	79
4.2.5.	Aumentar o dimensionamento (largura) de todas as passagens que compõem a rota de fuga	81
4.3.	ESTUDO DE CASO 3	83
4.3.1.	Saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras ..	83
4.3.2.	Alterações no posicionamento das saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	85
4.3.3.	Alterações no número total de saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras	95
4.3.4.	Alterações no dimensionamento das saídas de emergência	98
4.3.5.	Aumentar o dimensionamento (largura) de todas as passagens que compõem a rota de fuga	100
4.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	103

4.5.	SUGESTÕES PARA PROJETOS DE ROTAS DE FUGA.....	108
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

1. INTRODUÇÃO

As cidades são configuradas pelo conjunto de múltiplas práticas sociais. Atualmente, o repouso após a jornada de trabalho foi substituído por um conjunto de atividades possíveis, distintas, não ligadas às necessidades ou obrigações da vida cotidiana, o qual chama-se de lazer:

o lazer é um conjunto de ocupações às quais o indivíduo pode entregar-se de livre vontade, seja para repousar, seja para divertir-se, recrear-se e entreter-se ou, ainda para desenvolver sua informação ou formação desinteressada, sua participação social voluntária ou sua livre capacidade criadora após livrar-se das obrigações profissionais, familiares ou sociais (DUMAZEDIER, 1976, pg. 34).

O lazer pode ser classificado em três categorias: a) função de descanso – reparador das deteriorações físicas e emocionais provocadas pelas obrigações cotidianas, especialmente, o trabalho; b) função de divertimento, recreação e entretenimento – ligada diretamente ao tédio, visa uma compensação ou fuga por meio do divertimento para um mundo diferente daquele de todos os dias; c) função desenvolvimento – cria novas formas de aprendizagem, livremente escolhidas e que visa o desenvolvimento da personalidade. Todas estas categorias podem se apresentar em conjunto, em graus variados, podendo uma suceder a outra ou coexistirem (DUMAZEDIER, 1976).

Cada dia mais os momentos de lazer estão presentes na vida das pessoas. Conforme Gomes e Melo (2003), no Brasil, a partir da década de 1980, ocorre um crescimento considerável na visibilidade do lazer. Estes momentos de lazer acontecem em sua maioria em eventos que são caracterizados pela concentração de um grande número de pessoas, criando aglomerações. A parte negativa disto é que o número de acidentes que envolvem grandes eventos está cada vez maior (TEIXEIRA E CARDOSO, 2014).

Conforme pesquisas de Teixeira e Cardozo (2014), percebe-se que o número de casos de acidentes em eventos envolvendo multidões, com pessoas mortas ou gravemente feridas, está longe de ser desprezível e sua frequência vem aumentando nas últimas décadas. Do ano 2000 em diante, conforme pode ser visto na Tabela 1, houve 16 grandes tragédias causadas por incêndios em locais de reunião de público que resultaram em mortes.

Os estudos deste trabalho se limitarão a locais de reunião de público do tipo boates e clubes sociais com o objetivo de tornar mais completa a apresentação do tema. Entende-se ser de grande utilidade buscar paralelos e exemplos sobre situações equiparadas em incêndios ocorridos em boates e clubes sociais. A Tabela 1 mostra o histórico de incêndios em Boates e locais de concentração de público em diversas cidades do mundo e no Brasil, contendo dados sobre o número de mortos e de feridos.

Tabela 1 – Histórico dos principais incêndios em locais de reunião de público no mundo.

LOCAL	DATA	MORTOS	FERIDOS	CAUSA	OBSERVAÇÕES
EUA, Detroit, Michigan, Boate	20/09/1929	22	50	Descarte irregular de cigarros	Materiais inflamáveis no local
EUA, Boate Rhythm Night Club	23/04/1940	209	Centenas	Acidental	Materiais inflamáveis no local
EUA, Boate Cocoanut Grove	28/11/1942	492	Centenas	Acidental	
Brasil, GranCircus Norte- Americano	15/12/1961	500	1.500	Incêndio criminoso	70% das vítimas eram crianças
França, Club Cinq- Sept	1/11/1970	146	180	Acidental	Vítimas entre 17 e 30 anos
EUA, Beverly Hills Supper Club	28/05/1977	165	200	Desconhecida	Grande quantidade de fumaça
EUA, Happy Land	25/03/1990	87	Centenas	Incêndio criminoso	Homicídio
Argentina, Discoteca Kheyvis	12/1993	17	Não informado	Não informado	
China, Fuxin	1994	233	16	Acidental	
Filipinas, Ozone Disco Club	18/03/1996	162	95	Equipamento de som	Condenação de proprietários, funcionários e, agentes públicos
México, Discoteca Lobohombo	10/2000	22	40	Curto circuito	Local não possuía número suficiente de saídas de emergência

China, Luoyang	2000	309	Não informado	Não informado	Saídas bloqueadas e funcionamento irregular
Brasil, Caneco Mineiro	12/2001	7	340	Pirotecnia	Fogos de artifício
Peru, Discoteca Utopia	20/07/2002	28	Não informado	Pirotecnia	
Venezuela, Clube La Goajira	12/2002	50	45	Não informado	Boate lotada
EUA, Boate The Station	20/02/2003	100	200	Pirotecnia	Integrante da banda ativou fogos no palco
Argentina, Boate República Crománón	30/12/2004	194	1432	Pirotecnia	Mais de três mil pessoas no local
Brasil, Space Club	11/2006	0	Não informado	Pirotecnia	
Equador, Discoteca Factory	04/2008	19	24	Pirotecnia	
China, Wuwang Club	21/09/2008	43	88	Pirotecnia	300 pessoas no local
Tailândia, Santika Club	1/01/2009	66	222	Pirotecnia	Início no teto do palco
Rússia, Boate Lame Horse	5/12/2009	109	134	Pirotecnia	Fuga descoordenada das pessoas
Tailândia, Boate Tiger	17/08/2012	4	20	Curto circuito	Incêndio no início da madrugada
Espanha, ginásio Madri Arena	31/10/2012	3	2	Pirotecnia	Festa de Halloween, as vítimas tinham entre 18 e 25 anos

Brasil, Boate Kiss	27/01/2013	242	500	Pirotecnia	Asfixiadas por gases tóxicos
Romênia, Boate Colectiv	30/10/2015	64	147	Pirotecnia	Várias pessoas pisoteadas e intoxicadas

Fonte: Teixeira e Cardoso (2014).

Os estudos na área da segurança contra incêndio têm procurado estabelecer sólidos fundamentos científicos acerca da dinâmica das multidões e sua evacuação em situações de emergência. A preocupação maior é sempre com a preservação da vida. Segundo Gouveia e Etrusco (2002), “os incêndios são fenômenos extremamente violentos e essencialmente aleatórios. Desse modo, a evacuação dos locais de maior risco torna-se a estratégia mais confiável de salvamento de vidas humanas”.

Quando se trata da vida das pessoas no local de incêndio, a qualidade e a funcionalidade dos meios de escape desempenham um papel definitivo para diminuir ou até anular o número de vítimas. Quando há falhas nessas medidas de proteção é grande a probabilidade de os sinistros se transformarem em tragédias (MONTENEGRO, 2016, p. 17).

Conforme Seito et al. (2008), as saídas de emergência precisam ser planejadas com cautela, a fim de que sejam adotadas medidas protetivas que proporcionem uma velocidade segura de evacuação. Elas devem atender à demanda da população, em caso de sinistros, seja por compartimentação, rotas de fuga, escadas de emergência, áreas de refúgio, seja por elevadores de emergência totalmente protegidos e com sistema de alimentação de energia independente do geral da edificação.

“A falta ou inobservância de detalhes construtivos integrantes do sistema de saídas de emergência acarreta, no caso de utilização real, o desencadeamento de lesões corporais, entrada em pânico e até casos mais graves” (SEITO et. al. 2008, p. 101). A construção dos sistemas de saídas de emergência é peça fundamental no sucesso da evacuação de pessoas de locais onde existe a possibilidade de ocorrerem sinistros.

Investigar o fluxo de pedestres pode interferir nos projetos de arquitetura dos espaços de locais de reunião de grande público de forma positiva, podendo gerar um plano para a organização das multidões em situações de emergência. Segundo Seito et. al. (2008), as saídas de emergência bem planejadas atenuam o pânico quando da ocasião de sinistros. Neste trabalho serão abordados temas relevantes para a compreensão dos fatores fundamentais à segurança da evacuação dos espaços que concentram grande número de pessoas. Tanto no que diz respeito à

arquitetura dos locais e seu atendimento às normas técnicas e legislação vigentes, quanto na relação do comportamento humano em situações de emergência com a segurança na evacuação.

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A segurança contra incêndios é algo de extrema importância quando se trata de locais de reunião de grande público. No entanto, a eficácia desta segurança não vem sendo efetiva e tragédias seguem se repetindo, pessoas seguem morrendo, pela falta de avanços reais no que diz respeito a esse quesito.

As consequências de um sinistro podem ser minimizadas com um bom planejamento de segurança, a se iniciar pela concepção do projeto arquitetônico das saídas de emergência das edificações. Se centenas de pessoas seguem perdendo a vida e se ferindo por conta de incêndios em locais de reunião de público pode-se concluir que o planejamento de segurança não está sendo eficaz. É necessário, e é possível, que estudos técnicos mais aprofundados sejam realizados para que a vida humana seja protegida nestes locais

Independentemente da responsabilização civil e criminal das tragédias que vem acontecendo há anos, é fundamental reconhecer que existem problemas e deficiências sistêmicas que necessitam ser reconhecidas e entendidas para permitir avanços efetivos na busca por redução de riscos. Há pouco tempo, mesmo com toda tecnologia existente à época e com um número maior de profissionais com conhecimento técnico mais avançado do que em décadas passadas, aconteceu a maior tragédia do estado do Rio Grande do Sul e uma das maiores do mundo em se tratando de falta de segurança contra incêndio, a tragédia da Boate Kiss, ocorrida em 27 de janeiro de 2013, resultou na morte de 242 pessoas e deixou mais de 500 feridos.

O histórico moderno das pesquisas sobre segurança em incêndios urbanos em locais de reunião de público, tais como boates, clubes sociais e similares, iniciou na cidade de Chicago, nos EUA, quando ocorreu um incêndio em 30 de dezembro de 1903, no Teatro Iroquois, que vitimou 600 pessoas (GILL; NEGRISSOLO, 2008). Outro incêndio registrado em local de concentração de público, e que causou grande impacto emocional na população, ocorreu nos Estados Unidos, no dia 4 de março de 1908, na Escola Elementar Collinwood, na cidade de Lake View. O sinistro vitimou 172 crianças, 2 professores e 1 socorrista. Este incêndio mobilizou a população americana quanto à necessidade de implantação e melhoria dos códigos, normas e a necessidade do exercício constante de treinamento para evacuação de pessoas (DEADOHIO, 2012).

Conforme afirmam Gill e Negrissolo (2008), a gravidade e a sequência de fatos ocorridos nos Estados Unidos fizeram com que as proteções previstas nas medidas preventivas se modificassem em decorrência da atualização do Manual de Proteção Contra Incêndios (Handbook Fire Protection), com evoluções técnicas na edição de 1914. Também conforme Gill e Negrissolo (2008), o Código de Segurança da Vida (NFPA 101, 1914) delimitou o texto contendo “Sugestões para Organização e Execução de Exercícios de Incêndio” e, posteriormente, gerou indicações para a construção de escadas, de saídas de emergência para o abandono de diversos tipos de edifícios e para a construção e disposição de saídas de emergência em fábricas, escolas e demais locais com concentração de público.

No Brasil, como pode ser visto na Tabela 1, em 52 anos foram registrados quatro incêndios de grande magnitude em locais de reunião de público ocasionando a morte de um total de 749 pessoas e deixando milhares de feridos. A maioria dos incêndios tiveram início em virtude da utilização de artefatos pirotécnicos, ocasionando a morte de diversas pessoas, em sua maioria provocada pela asfixia por gases tóxicos, devido à dificuldade de evacuação destes locais.

1.1.1 Incêndio Gran Circus Norte-Americano

Conforme Ventura (2011), a tragédia do Gran Circus Norte-Americano foi um crime de fogo ocorrido em Niterói/RJ, em 17 de dezembro de 1961, no qual morreram mais de 500 pessoas e mais de 800 sofreram ferimentos.

Conforme Seito et. al (2008, p. 23),

vinte minutos antes de terminar o espetáculo, um incêndio tomou conta da lona. Em três minutos, o toldo, em chamas, caiu sobre os dois mil e quinhentos espectadores. A ausência dos requisitos de escape, como dimensionamento e posicionamento de saídas, a inexistência de pessoas treinadas para conter o pânico e orientar o escape, etc., foram as causas da tragédia. As pessoas morreram queimadas e pisoteadas. A saída foi obstruída pelos corpos amontoados.

Tratou-se, portanto, do maior incêndio em perda de vidas, em nosso país, e de maior perda de vidas ocorridas em um circo até hoje.

1.1.2 Incêndio Caneco Mineiro

Conforme matéria publicada no site Zona de Risco (2013), O Caneco Mineiro era um local de shows populares, em Belo Horizonte, Minas Gerais, com área construída de 2.400 m² e com capacidade para 3.000 pessoas. O incêndio ocorreu em 2001, quando cerca de 1.500

peças estavam no local. Sete pessoas morreram e 340 ficaram feridas. Durante a investigação, foi apurado que a boate não possuía alvará de funcionamento e, tampouco, medidas de prevenção de incêndios.

A casa de shows não atendia às condições mínimas de segurança. Os cinco extintores, apesar de estarem carregados, não estavam funcionando, segundo o Corpo de Bombeiros. Além disso, não havia saídas de emergência, portas corta-fogo e nem hidrantes (ZONA DE RISCO, 2013).

Além da falta de estrutura contra incêndios, segundo a mesma fonte, a tragédia foi causada pela obstrução da única saída existente no local. A porta possuía quatro metros de largura. A partir dela se abriam duas rampas laterais, em forma de "s", que chegavam à outra porta. Só então as pessoas tinham acesso à área onde era realizado o show.

1.1.3 Incêndio Space Club

A danceteria Space Club, localizada em São Paulo, tinha estrutura com 4 amplos ambientes e passarelas suspensas onde aconteciam performances com malabaristas e dançarinos. Porém, no dia 25 de novembro de 2006, um show de pirofagia provocou um incêndio e destruiu o local. O incêndio deixou dezenas de pessoas feridas, mas não registrou nenhuma vítima fatal.

Durante a apresentação de um bailarino que cuspiu fogo, quando havia entre 800 e 1000 pessoas na casa, o fogo atingiu o teto e se alastrou rapidamente pelo revestimento sintético (espuma). Houve pânico e dificuldade para saída do público porque as portas de emergência estavam trancadas (G1, 2006).

Segundo a mesma fonte, as saídas de emergência estavam trancadas e uma delas foi arrombada pela multidão. Na saída principal, os seguranças não queriam deixar que as pessoas saíssem antes do pagamento do consumo, só liberaram o fluxo quando viram pedaços do revestimento do teto pegando fogo e caindo.

1.1.4 Incêndio Boate Kiss

Em 27 de janeiro de 2013 aconteceu a maior e mais recente tragédia causada por incêndio em local de reunião de público no Brasil: o incêndio na Boate Kiss, na cidade de Santa Maria / RS. Este incêndio resultou na morte de 242 pessoas e deixou mais de 500 feridos.

O incêndio na Boate Kiss, segundo consta nos autos de Inquérito Policial, instaurado para apurar as suas causas, teve seu início provocado pelo manuseio de fogos de artifício utilizados em show pirotécnico, cujas chamas atingiram o teto de espuma composto por material inflamável, o qual propagou rapidamente a fumaça e as chamas pelo ambiente. As pessoas, segundo laudo pericial, morreram asfixiadas, queimadas e pisoteadas (CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL, 2013).

1.2 PERGUNTA DA PESQUISA

Como o projeto das saídas de emergência pode interferir no tempo total de evacuação dos ocupantes de locais de reunião de público em uma situação de emergência?

1.3 OBJETIVOS

Na sequência serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar, através de simulação computacional, qual a interferência do projeto das saídas de emergência no tempo total de evacuação dos usuários de locais de reunião de público em uma situação de emergência e, a partir dos resultados encontrados, propor sugestões para novos projetos de saídas de emergência de locais de reunião de público.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) identificar o comportamento humano em situações de emergência e sua relação com o sucesso de evacuações;
- b) definir os critérios de avaliação para os projetos arquitetônicos das saídas de emergência em edifícios;
- c) elaborar estudos de caso com a finalidade de identificar, utilizando a simulação computacional, o tempo total de evacuação dos locais de reunião de público com projetos de saídas de emergência atendendo as normas e legislação vigentes;

d) elaborar estudos de caso propondo alterações nos projetos de saídas de emergência com a finalidade de identificar, utilizando a simulação computacional, o impacto no tempo total de evacuação dos locais de reunião de público;

e) propor sugestões para auxiliar na elaboração de novos projetos de rotas de fuga em locais que reúnem grande público.

1.4 JUSTIFICATIVA

Diversos autores (REIS, 2001; BINS ELY, 2003; VILLAROUCO, 2001 apud FONSECA, 2009) afirmam que a arquitetura dos locais interfere na sua segurança, porém não há uma identificação específica das formas de interferência. Os projetos das saídas de emergência nos edifícios têm relação direta no tempo de evacuação, porém não há uma regra específica de como as alterações nos projetos interferem. Havendo esta identificação, os projetistas poderiam utilizar tais dados para elaborar projetos arquitetônicos que proporcionassem mais segurança aos usuários daqueles locais.

Há aspectos relevantes para a compreensão dos riscos existentes, como o comportamento humano em situações de emergência e a relação do usuário com o ambiente construído. Por isso, avaliar o processo de evacuação dos espaços que reúnem grande público tem grande importância. Na realização de eventos, já na etapa de preparação, a análise de riscos é de fundamental importância para que os riscos sejam avaliados e todas as precauções para minimizá-los ou eliminá-los sejam tomadas (DUARTE, LEITE E PONTES, 1996).

Em uma emergência, ocorrem diversas situações que influenciam o comportamento das pessoas envolvidas. Em casos de incêndio por exemplo, a presença de chamas, fumaça, gases tóxicos e o aumento das temperaturas são fenômenos que contribuem para a instabilidade emocional (VALENTIN; ONO, 2006). O comportamento humano é variável e influencia o processo de abandono de uma edificação. Para que haja uma evacuação segura e satisfatória, faz-se necessário conhecer o comportamento e o movimento das pessoas em situações de emergência.

Em geral, as normas técnicas brasileiras e as normas do corpo de bombeiros, são os instrumentos através dos quais a segurança é incorporada aos projetos de espaços. Os estudos da relação entre as edificações e os acidentes são muito importantes, uma vez que os critérios de segurança são estabelecidos através da legislação vigente. A legislação e as normas (NBR) determinam as condições mínimas exigíveis que as edificações devem atender, tais como,

evacuação dos espaços ou a movimentação segura dos usuários (DUARTE, LEITE E PONTES, 1996).

Segundo Seito et al. (2008), estudar o fluxo de pessoas pode interferir nos projetos de arquitetura dos espaços de locais de reunião de grande público de forma positiva. A segurança dos usuários de uma edificação em situação de emergência causada por incêndio encontra-se diretamente relacionada ao tempo de abandono para um local seguro.

Conforme Alves (2011), os modelos computacionais de evacuação são ferramentas importantes para a avaliação dos projetos de arquitetura no que concerne à segurança das pessoas, pois permitem calcular o tempo de fuga dos ocupantes de uma edificação. Através da simulação computacional pode-se comprovar a eficácia do que está em norma, validar dados e avaliar a performance dos projetos. Por meio dela, pode-se contribuir para a minimização dos efeitos danosos do incêndio antes mesmo que ele ocorra.

Desta forma, nesta pesquisa se fez necessária a elaboração de cenários, para que fosse possível avaliar a interferência dos projetos das saídas de emergência na evacuação de locais de reunião de grande público. Para avaliar a eficácia das saídas dos locais, o tempo de evacuação dos usuários é o parâmetro que deve ser utilizado, pois quanto menor o tempo de evacuação mais segura ela se torna.

1.5 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Esta pesquisa pretende contribuir para o aprimoramento dos projetos arquitetônicos de espaços que atraem grande público. Avaliar como o projeto das saídas de emergência interfere no tempo total de evacuação destes locais poderá proporcionar aos arquitetos e projetistas a obtenção e elaboração de diretrizes para a concepção de projetos arquitetônicos que proporcionem maior segurança aos usuários em casos de emergência.

1.6 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Optou-se por limitar esta pesquisa à avaliação da arquitetura dos espaços que reúnem grande público classificados como boates e clubes noturnos. A pesquisa avaliará, portanto, o quanto os projetos arquitetônicos das saídas de emergência interferem nas condições de evacuação dos espaços em situações de emergência causada por incêndios, especificamente em locais fechados e com um apenas um pavimento.

1.7 ESTRUTURA DA PESQUISA

Capítulo 1 – Introdução: este capítulo tem início discorrendo a respeito do lazer na sociedade, especialmente no que diz respeito ao lazer que promove aglomeração de pessoas. Na sequência, apresenta informações de acidentes em locais de reunião de público, que resultaram em mortes, bem como suas possíveis causas. Versa também, de forma breve, sobre os principais conceitos que são abordados no decorrer do trabalho. Além disso, apresenta a pergunta de pesquisa, os objetivos do trabalho, a justificativa, a relevância do tema e a limitação da pesquisa.

Capítulo 2 – Referencial teórico: este capítulo traz os principais autores que são referência para a compreensão dos temas envolvidos na pesquisa. A pesquisa trata dos seguintes temas: o comportamento humano em situações de emergência, a importância do projeto arquitetônico na segurança contra incêndios, os projetos de saídas de emergência em edifícios, a segurança na evacuação em situações de incêndio e a simulação computacional de evacuação de edificações.

Capítulo 3 – Metodologia da pesquisa: este capítulo descreve a metodologia adotada neste trabalho para a identificação das alterações do projeto arquitetônico das saídas de emergência na segurança da evacuação de locais de reunião de grande público. Classifica a pesquisa com base nos objetivos e procedimentos técnicos adotados e descreve a sua estrutura.

Capítulo 4 – Resultados: este capítulo trata da aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa, abordando a análise dos resultados encontrados e propondo sugestões que auxiliem nos futuros projetos de rotas de fuga de locais que reúnem grande público.

Capítulo 5 – Considerações finais: o quinto capítulo trata das considerações finais do autor sobre a pesquisa realizada. Nesta etapa são demonstradas as conclusões obtidas com a pesquisa e propostas recomendações de pesquisa para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a sustentação das suposições que serão utilizadas nesta pesquisa por meio de revisão bibliográfica, buscando alcançar os objetivos propostos. As abordagens serão relacionadas ao comportamento humano em situações de emergência, à importância do projeto arquitetônico na segurança contra incêndios, aos projetos das saídas de emergência e às normas que determinam suas diretrizes, à segurança na evacuação em situações de incêndios e às simulações computacionais de evacuação de edificações.

2.1. O COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

O modo de agir sob uma situação de risco e estresse é muito particular e muda de pessoa para pessoa, não estando claramente relacionado com a condição física do indivíduo ou a sua idade. A maior parte das pessoas que sobrevivem às situações de emergência são aquelas que estão conscientes e preparadas sobre qual a melhor forma de agir nessas situações. Compreender o comportamento humano diante das multidões é importante, para que se possa prever aspectos facilitadores de uma tranquila e mais rápida evacuação possível (ARAÚJO, 2008).

O comportamento e o movimento das pessoas variam de acordo com a influência dos seguintes fatores: o estado de saúde, a mobilidade, a velocidade de escape, o estado de atenção enquanto situadas na edificação e o tempo total de escape. Conforme Hillier (1996), somados a esses fatores encontra-se a influência também exercida pela disposição dos espaços na edificação (configuração espacial). Essa configuração pode trazer restrições na experiência espacial a partir do momento que encoraja ou impede aspectos da atividade humana.

A teoria formulada por Hedinger (1964 apud STAMPS, 2006) postula que a segurança é a função mais importante que um ambiente deve prover e é citada em vários trabalhos de STAMPS (2006, 2007, 2012) que destaca as duas habilidades que têm efeitos óbvios na segurança: a locomoção e a percepção. Se a locomoção é limitada, por exemplo, por paredes de um compartimento, a fuga é dificultada. Da mesma forma, a percepção de distância, ou da aproximação de um perigo, tem também uma importante relação com a segurança (ONO, 2013, p. 1680).

Durante uma emergência, o indivíduo passa a ter uma resposta comportamental que envolve esforços exagerados, induzidos pelo meio que ele está inserido, e em virtude da situação de sinistro. São desenvolvidos padrões de comportamento fora do normal, que podem dificultar o abandono dos usuários como também a entrada de equipes de socorro, diminuindo ainda mais o escoamento das pessoas (VALENTIN, 2008).

As diferenças do comportamento humano são de grande influência na segurança em uma situação de emergência, porém, nenhuma das normas, leis, códigos ou guias de segurança contra incêndios do Brasil levam em consideração tal fator. Nos Estados Unidos, no início do século XX, iniciaram-se os estudos do comportamento humano em situações de incêndio e, com o passar dos anos, principalmente após a ocorrência de trágicos incêndios, as mudanças na engenharia de proteção contra incêndio foram aceleradas. No início dos anos de 1980, o governo dos Estados Unidos financiou pesquisas com ênfase em modelos computacionais que simulavam o comportamento humano em evacuação de edifícios. Porém, apesar do pioneirismo, outros países passaram a liderar este campo de pesquisa, como Austrália, Canadá, Grã-Bretanha, Japão e Nova Zelândia (VALENTIN; ONO, 2006).

Os estudos envolvendo o comportamento humano revelam que o ocupante de uma edificação, em caso de incêndio, toma sua decisão de movimento entre o tempo de reconhecimento do fenômeno, que ocorre geralmente após um alarme, e o tempo de resposta. Normalmente esta decisão se torna muito mais complexa do que em uma situação cotidiana. Diante da emergência, qualquer pessoa terá aumento do nível de estresse, visto que isto é necessário para motivar a reação e a ação. (VALENTIN; ONO, 2006).

O National Institute of Standards and Technology (NIST) publicou o resultado de entrevistas feitas com pessoas que saíram do incêndio nas torres gêmeas, do World Trade Center, em 2001. Os relatos indicaram que houve uma demora, em torno de seis minutos, para que houvesse um início de reação, pois as pessoas perderam tempo desligando seus computadores, pegando objetos pessoais e realizando telefonemas, ao invés de se dirigirem para as saídas de emergência. Vale destacar aqui que, de acordo com Ono (2008), o local seguro deveria ser alcançado de qualquer ponto da edificação no menor espaço de tempo possível, sugerindo que este tempo seja no máximo dois minutos.

Viu-se, de acordo com o que foi exposto anteriormente, que o comportamento humano em situações de emergência é influenciado por condições ambientais e de natureza emocional bem como pelo conhecimento das ações que devem ser tomadas ou da rota de fuga a ser seguida. Para os usuários das edificações, as saídas de emergência conhecidas são mais procuradas do que as rotas de fuga não familiares, sendo a sinalização de emergência um fator menos importante do que o conhecimento prévio do local (SIME, 1995).

Em se tratando de emergências de incêndio, para que o abandono do espaço ocorra do modo mais rápido e eficaz possível por uma rota de fuga, dois fatores são fundamentais: o rápido reconhecimento do aviso de incêndio e a familiaridade com a saída de emergência mais próxima de onde o usuário estiver no momento do alarme. Sendo assim, os treinamentos de

abandono de área com os usuários permanentes de uma edificação devem acontecer a fim de orientá-los para que estejam preparados a agir conforme o plano de abandono e seguir rotas seguras, auxiliando e conduzindo também os demais usuários (SIME, 1995).

Durante uma emergência, o indivíduo tende a guiar-se mais pelas emoções do que pela razão, o que pode desencadear o pânico (ALVES, 2011). A palavra “pânico” vem da mitologia grega. O deus “Pã”, que era parte humano e parte bode, de tempos em tempos se divertia pregando peças nos viajantes humanos que atravessavam as florestas produzindo barulhos estranhos, arrepiantes e que ninguém conseguia explicar. O medo destes barulhos, na verdade inofensivos, passaram a ser conhecidos como “pânico”. Muitas vezes utiliza-se esta palavra como significado de algum tipo de medo que rouba o controle (RIPLEY, 2008).

Para Ripley (2008), existe o pânico enquanto emoção e o pânico enquanto comportamento. O pânico – a emoção – é o pior cenário na imaginação humana, caracterizado por um medo extremo onde as normas de conduta e o comportamento se dissolvem, restando apenas o caos. O pânico – o comportamento – se caracteriza pelas ações geradas através da emoção, quase sempre irracionais e que podem colocar em risco a segurança tanto das pessoas que estão em pânico quanto das que estão ao redor delas.

Segundo Araujo (2008), em muitos casos envolvendo situações de emergência relatados, o pânico pode provocar um maior número de vítimas que o próprio sinistro. Em uma situação de incêndio, por exemplo, todos os ocupantes do local tentam sair ao mesmo tempo pelos corredores, portas e escadas, abandonando pessoas feridas e podendo causar pisoteamento. Este comportamento se dá em função das pessoas tenderem a agir por instinto, em virtude do medo e do estresse que se fazem presentes. Estas atitudes, individualistas e desorganizadas, acabam gerando o pânico e contagiando os demais.

No entanto, segundo Alves (2011), a compreensão do comportamento coletivo não se dá apenas a partir do estudo do comportamento individual, havendo necessidade de compreensão de uma mentalidade coletiva. Durkheim (1893 apud ALVES, 2011) afirma que o comportamento coletivo é distinto do comportamento individual, uma vez que não se trata da soma destes comportamentos.

No século XIX, o francês Le Bon escreveu os primeiros estudos sobre o comportamento e a psicologia das massas, tratando as aglomerações humanas como grupos, que têm como característica comportamentos indisciplinados e explosivos, criando-se a ideia de que, numa emergência, as pessoas podem morrer por agirem de forma irracional e egoísta, em vez de se dirigirem organizadamente às saídas de emergência (LE BON, 1986). Para o autor,

a multidão possui uma personalidade com características próprias, tendo uma mente coletiva diferente das mentalidades individuais de seus integrantes.

O sociólogo americano Blumer (1951, apud ALVES, 2005) classifica a multidão em quatro tipos:

a) **Multidão Casual:** é a multidão momentânea, que possui organização e unidades fracas. Os indivíduos que a compõe entram e saem, e mantém atenção apenas por determinado tempo para o objeto de interesse. A interação entre esses indivíduos não é intensa. Cita-se como exemplo pessoas assistindo um artista em uma apresentação na rua.

b) **Multidão Convencional:** é semelhante a multidão casual, contudo, a diferença está no fato de que seu comportamento pode ser expresso e estabelecido regularmente. Cita-se como exemplo, espectadores de um evento esportivo.

c) **Multidão Ativa:** é a multidão que apresenta um objetivo comum que direciona sua atenção e seu comportamento. Pode-se citar como exemplo, um grupo de linchadores frente a um crime, que procura punir o assassino mediante a um impulso caracterizado por um intenso sentimento coletivo.

d) **Multidão Expressiva ou Dançante:** é a multidão onde as tensões emocionais são demonstradas através de atos inofensivos, quando o comportamento coletivo é representado por movimentos físicos e se opera mediante o ritmo. Pode-se citar como exemplo, um desfile de escola de samba.

Em 1992, a partir de suas próprias experiências, Still (2000) percebeu que o movimento da multidão tinha mais a ver com a física do que com a psicologia. Ele descreve que, desde que os indivíduos tenham pelo menos um metro quadrado de espaço para cada um, eles conseguem controlar os próprios movimentos. Com menos de um metro quadrado de espaço por pessoa, que é o que acontece nos locais de reunião de grande público, perde-se a capacidade de enfrentar empurrões dos outros. Oscilações podem amplificar-se e os problemas podem tornar-se mais graves quando indivíduos tentam ajudar uns aos outros, formando, por exemplo, círculos de proteção em torno de algum grupo ou indivíduo (RIPLEY, 2008).

A formação de grupos dentro das multidões é um fenômeno comum e tem grande influência no comportamento de pedestres (LING et al., 2014). Ao analisar o movimento das multidões, observa-se que o grupo se locomove evitando colisões entre os indivíduos e com os obstáculos do ambiente. Também, na maioria das vezes, os indivíduos buscam o caminho mais curto e confortável, caracterizando a lei do mínimo esforço (HELBING e MOLNAR, 1995).

Em relação a limitação desta pesquisa, que determina o estudo em locais fechados de reunião de grande público, como clubes e boates, torna-se importante ressaltar apontamentos

que tratam do comportamento humano frente a ingestão de álcool. O álcool é uma das poucas drogas psicotrópicas que têm seu consumo admitido e até incentivado pela sociedade, contudo, quando ingerido em excesso, pode tornar-se um grande problema. Segundo Carlini et. al. (2001), os efeitos da ingestão de álcool aparecem em duas fases distintas: uma estimulante e uma depressora. Nos primeiros momentos após a ingestão, podem aparecer efeitos estimulantes, tais como a euforia, desinibição e loquacidade. Em outra fase, aparecem os efeitos depressores, como a falta de coordenação motora, descontrole e sonolência. Quando há consumo excessivo, o efeito depressor se torna aumentado, provocando dificuldades de percepção da realidade no seu entorno.

Desta forma, entender o comportamento humano em diversas situações se torna algo muito importante quando se lida com evacuação. O comportamento interfere significativamente no tempo de escape, sendo que o tempo que os usuários levam até chegar a um ambiente externo em um caso de emergência por incêndio é o que de fato mais importa para a segurança.

2.2.A IMPORTÂNCIA DO PROJETO ARQUITETÔNICO NA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

Um espaço mal projetado pode levar a ocorrência de acidentes, principalmente se este espaço é destinado à reunião de um grande público. Dois fatores contribuem significativamente para o aumento do risco de desastres: o projeto do local onde as pessoas são reunidas e o comportamento inerente das multidões. O comportamento das multidões dificilmente pode ser alterado, pois envolve aspectos psicológicos que são característicos da natureza humana, já o projeto e a construção dos espaços que receberão as pessoas, podem ser ajustados por arquitetos, engenheiros e planejadores de transportes (SOUZA, 2016).

Os projetistas, arquitetos e engenheiros, são de fundamental importância no que se refere à segurança contra incêndios das edificações. Conforme ONO et al. (2008, apud Seito et al. 2008, p. 123),

é na etapa de projeto que acontece a concepção e o desenvolvimento do produto, baseados na identificação das necessidades dos clientes em termos de desempenho e custos, assim como nas condições da exposição a que estará submetida a edificação na fase de uso. As soluções de projeto determinarão a qualidade do produto final e, conseqüentemente, condicionarão o nível de desempenho e segurança da edificação e o de satisfação dos usuários finais.

O projeto de arquitetura, quando bem elaborado, representa papel importante como medida preventiva em uma edificação. Ele deve levar em consideração as saídas de emergência (rotas horizontais e verticais), a especificação de materiais adequados ao uso, assim como um

conjunto de elementos técnicos importantes capazes de minimizar, ou até mesmo excluir, falhas de projeto e garantir maior segurança aos usuários (BERTO, 1991).

De acordo com Bormio (2007), para se projetar ambientes eficientes e eficazes que satisfaçam seus usuários em todos os aspectos, inclusive no quesito segurança, profissionais que trabalham com o projeto de ambientes, como arquitetos, devem entender de que maneira ocorre a relação entre o ambiente construído, o homem e a atividade desenvolvida. Cada um desses itens tem papel importante e características específicas, que se apresentam de maneira diferente no sistema, influenciando-se reciprocamente.

O ambiente construído é um elemento importante nas atuações dos usuários no dia-a-dia, pois interfere em suas ações, positiva ou negativamente. Tal interferência se dá, principalmente, pelas questões de qualidade desses locais. Quando há alguma dificuldade na espacialização de uma atividade – e essa dificuldade é inerente a arquitetura do lugar, ou seja, ao espaço construído – sua identificação é fácil, pois é estabelecido um conflito entre o usuário e o objeto arquitetônico (MALARD et al. s/d).

Em situações de emergência, quando se estabelece o pânico, os indivíduos tendem a agir por instinto, com atitudes mais individualistas e desorganizadas. Conhecer as rotas de fuga, bem como perceber rapidamente os sinais para evacuação do local, são fundamentais para o sucesso do esvaziamento de multidões em segurança. A familiaridade com as rotas de fuga, pode reduzir significativamente o tempo pré-movimento, e, portanto, o tempo de esvaziamento de um local (SIME, 1995). Desta forma, a arquitetura deve facilitar a compreensão do lugar e possibilitar uma leitura do espaço e dos caminhos a serem percorridos com facilidade pelos usuários.

É de responsabilidade do arquiteto garantir que os objetivos da segurança contra incêndio estejam integrados com os objetivos mais gerais do projeto arquitetônico (STOLLARD; ABRAHAMS, 1999). A importância se destaca como um dos quatorze requisitos de desempenho das edificações considerados na norma ISO 6241 – Performance standards in buildings – Principles for their preparation and factors to be considered, documento de referência internacional em se tratando de desempenho de edifícios (ONO et al. 2008, apud SEITO et al, 2008). O requisito de desempenho de segurança contra fogo, constante na ISO 6241, contém em um dos seus itens o tempo de evacuação (rotas de fuga) (CINTRA, 2001).

Conforme Kowaltowski et al. (2011), um processo de projeto arquitetônico é mal estruturado porque a maioria dos problemas são mal definidos, ou seja, os fins e os meios das soluções são desconhecidos e externos ao problema, pelo menos no seu conjunto. Embora as

características do problema possam ser claras, grande parte da atividade de resolução do problema se dá por definições e redefinições pouco explícitas.

Para que sejam atingidos os objetivos de um projeto, o processo de projeção envolve etapas e condições exigíveis, fixadas pela NBR 13532 (1995) – Elaboração de projetos de edificações: arquitetura. Para Lauson (2010), esse processo não está totalmente esclarecido e provavelmente não segue uma regra lógica de atividades. O mais provável é que projetar seja um processo no qual o problema e a solução surgem juntos. Cabe ao projetista o uso da criatividade e a contínua busca de conhecimento sobre o problema do projeto para propor soluções adequadas a fim de atingir a sua completa qualidade. Ao final, espera-se que a edificação cumpra o objetivo principal de manter a integridade dos usuários e dos bens que abriga, correspondendo aos anseios e expectativas de conforto e satisfação nesse mesmo espaço e que possibilite o seu uso nas mais variadas situações (MOREIRA e KOWALTOWSKI, 2009).

Para que, de fato, um edifício esteja seguro contra incêndio, todo o sistema de segurança deve funcionar de maneira que mantenha baixo o nível de risco associado ao incêndio. Isso vai depender da confiabilidade dos seus elementos constituintes e das medidas de prevenção e proteção incorporadas no processo produtivo do edifício. Dentre os diversos aspectos elencados por Berto (1991), a serem levados em consideração, destacam-se as medidas de proteção relativas a aspectos construtivos do edifício, as quais podem ser divididas em duas categorias: medidas passivas e ativas.

A proteção ativa deve ser acionada manual ou automaticamente para funcionar, pois é constituída por equipamentos e sistemas. São exemplos dessa medida de proteção: detectores de fumaça, sistema de alarme, hidrantes, extintores, chuveiros automáticos (sprinklers), iluminação de emergência etc. A proteção passiva, por sua vez, não precisa ser ativada para o seu funcionamento: ela é constituída por meios de proteção incorporados à construção da edificação. Como exemplo, tem-se as rotas de fuga (corredores, passagens, escada); aberturas do edifício (janelas); dimensionamento dos elementos estruturais; compartimentação (vertical e horizontal); materiais de acabamento e revestimento entre outros (MONTENEGRO, 2016, p. 18).

Todos os elementos de um sistema de segurança têm como objetivo comum a restrição do risco à vida humana, porém, a evacuação segura é o único elemento que tem somente este objetivo. Assim sendo, as rotas de fuga devem garantir o abandono seguro do edifício pelos seus ocupantes e devem ser projetadas de maneira favorável ao escape (BERTO, 1991).

A Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA, 2012) afirma que as chamadas medidas de proteção passivas são as de maior peso em um projeto de arquitetura, pois influem na configuração dos espaços, na escolha dos sistemas construtivos e na especificação de materiais seguros. Elas devem ser o elemento de maior confiabilidade dentro

de um sistema, uma vez que, em caso de emergência, se outros elementos não cumprirem seus propósitos, a evacuação segura não poderá falhar.

Ono (2013, p. 1677) afirma que,

apesar de ser a mais importante medida de proteção passiva, é pouca a importância dada ao sistema de saídas de emergência, no país, pelos arquitetos. Não é incomum verificar-se, em avaliações de projetos, que várias das soluções propostas são ineficientes ou, até inadequadas, pois resultam em localização de saídas em posições de difícil acesso ou de difícil reconhecimento pelos usuários, como revelado em estudos anteriores de Gonçalves (2004) e Valentin (2008), apesar de atenderem aos requisitos prescritivos estabelecidos nas regulamentações vigentes.

O cenário atual apresenta uma situação desfavorável, principalmente sobre o aspecto da proteção passiva, uma vez que a participação do profissional responsável pela segurança contra incêndio se dá somente após a definição do partido arquitetônico. Os arquitetos não se envolvem com as medidas de segurança e cabe então ao projetista de segurança contra incêndio a adoção e o dimensionamento da proteção ativa, que consiste basicamente na implantação de sistema de detecção, alarme e outros, que podem muitas vezes encarecer a obra (SCHEER e BARONOSKI, 2007). É fundamental que o arquiteto saiba pensar o projeto do edifício para que ele funcione bem não apenas em situações cotidianas, mas também no caso de emergências (SILVA et al. 2010).

Em eventos que têm a característica de reunir um grande número de pessoas, as evacuações devem ser minuciosamente planejadas, inclusive na arquitetura das construções (ZHENG *et al.*, 2009). Os edifícios podem ter layouts diferentes e diferentes planos de rota de fuga para atender às suas necessidades de ocupação. Mesmo que vários projetos de saída possam ser compatíveis com as normas e leis, eles ainda funcionarão de forma diferente em evacuações de emergência. Alguns podem resultar em menor tempo de evacuação, outros podem impedir que os ocupantes escapem eficientemente (SHEN, 2003). Ou seja, para o autor, a configuração do edifício pode ter grande influência no tempo de movimento da ação de fuga.

2.3. OS PROJETOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS

As diretrizes sobre os projetos de saídas de emergência e segurança na evacuação de edifícios no Brasil são baseados na Lei Federal Nº 13.425/2017 e na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que elaboram, aprovam e publicam as normas brasileiras (NBR). Na sequência serão apresentadas a Lei Nº 14.425/2017; as normas técnicas NBR 9077/2001 “Saídas de emergência em edifícios”, NBR 9050/2015 “Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos”; a Instruções Normativas do Corpo de Bombeiros

Militar do Estado de Santa Catarina, IN/DAT/CBMSC 009/2014 “Sistema de saída de emergência” e a Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, IT11/2019, “Saídas de Emergência”, considerada a mais avançada do Brasil quanto a regulamentação de saídas de emergência.

2.3.1. Lei Federal Nº 13.425/2017 “Medidas de Prevenção e Combate a Incêndio e a Desastres em Estabelecimentos, Edificações e Áreas de Reunião de Público”

A L13425/2017 estabelece diretrizes gerais e ações complementares sobre prevenção e combate ao incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. A lei determina que o planejamento urbano a cargo dos Municípios deverá observar normas especiais de prevenção e combate à incêndio e a desastres para locais de grande concentração e circulação de pessoas, editadas pelo poder público municipal, respeitada a legislação estadual pertinente ao tema.

A LF13425/2017 determina que o processo de aprovação da construção, instalação, reforma, ocupação ou uso de estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público deverá observar: o estabelecido em legislação estadual sobre prevenção e combate à incêndio e a desastres; as condições de acesso para operações de socorro e evacuação de vítimas; a prioridade para uso de materiais de construção com baixa inflamabilidade e de sistemas preventivos de aspersão automática de combate a incêndio. Ela também define que os cursos de graduação em Engenharia e Arquitetura em funcionamento no país, devem incluir, nas disciplinas ministradas, conteúdo relativo à prevenção e ao combate a incêndio e a desastres.

2.3.2. NBR 9077/2001 “Saídas de Emergência em Edifícios”

A NBR 9077/2001 tem por objetivo determinar as condições que as edificações devem possuir, a fim de possibilitar o abandono de locais, em caso de incêndio ou emergência, preservando a integridade física dos usuários, bem como, permitir acesso e auxílio do Corpo de Bombeiros para o combate ao fogo e retirada das pessoas. Esses objetivos devem ser atingidos projetando-se saídas comuns das edificações, para que sirvam como saídas de emergência, e saídas de emergência, quando necessário. Essa norma atua oferecendo parâmetros construtivos para espaços novos, bem como, requisitos para adaptações em espaços existentes, sempre que necessário.

Claret e Mattedi (2011) afirmam que a NBR 9077 é considerada a “norma-mãe”, entre engenheiros e arquitetos, pois direciona qualquer atividade projetual no que concerne às saídas das edificações. Ela subsidia as Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros de todos os Estados, inclusive a Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, IT 11/2019, considerada como a regulamentação de saídas de emergência mais avançada do país.

Ela classifica as edificações quanto à natureza de sua ocupação, altura, dimensões em planta, características construtivas e quanto a sua densidade por metro quadrado. Além disso, discorre sobre as distâncias máximas a serem percorridas em caso de evacuação do edifício, sobre o número de saídas necessárias e tipos de escadas nas rotas de fuga, sobre exigência de sistema de alarme de incêndio, sobre larguras mínimas para as portas, corredores e escadas de rotas de fuga e sobre lotação máxima da edificação.

No entanto, enquanto as normas estaduais são atualizadas periodicamente, a NBR 9077 tem sua última versão publicada em 2001, há quase duas décadas. Tamanho tempo sem revisão contraria a instrução administrativa da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2014), a qual prevê que as normas brasileiras devem ser revisadas a cada cinco anos.

2.3.3. NBR 9050/2015 “Acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos”

Acidentes podem ocorrer em qualquer espaço, e onde o projeto arquitetônico não atende as normas técnicas os danos podem ser maiores. Como exemplo, pode-se citar o caso do incêndio da boate Kiss, onde as perícias realizadas no local, após o incêndio, sugeriram falhas em diversos aspectos, tanto quanto ao atendimento às normas de prevenção contra incêndios, quanto ao atendimento às normas de acessibilidade. O atendimento às normas de acessibilidade poderia ter salvo vidas, uma vez que todos que estavam no interior da boate no momento do incêndio se comportavam como deficientes visuais, já que o ambiente estava totalmente escuro e repleto de fumaça (MUNIZ, 2013).

A adequação a Acessibilidade prevê na NBR 9050/2004 da ABNT, atual INBR 9050/2015, rotas de fuga, sinalização sonora e visual de emergência, saídas de emergência, corrimão, guarda-corpo, locais de resgate, caminhos podotáteis e sinalização de orientação do material fotoluminescente, entre outros itens que auxiliam deficientes visuais em rotas de fuga, e era a situação de todos no escuro da boate, todos eram deficientes visuais e em pânico. Inclusive dois degraus na saída do salão e outros na entrada da boate, obstáculos na fuga, pelas normas e projeto de Acessibilidade seriam rampas e não existiriam, e assim as pessoas não tropeçariam nos degraus e não cairiam umas sobre as outras fechando as saídas (MUNIZ, 2013, p.1).

A NBR 9050/2015 define acessibilidade como a possibilidade de se alcançar, perceber e entender, de forma segura e autônoma, espaços públicos e privados, mobiliários, transportes e comunicação, por indivíduos com deficiência ou mobilidade reduzida. Para Dischinger e Bins Ely (2012), se faz necessário a criação de lugares acessíveis que possibilitem às pessoas, independentemente de suas limitações, desfrutar dos espaços e equipamentos com independência e igualdade. A acessibilidade vai além de possibilitar que todos cheguem a um lugar de destino. Ela também está associada à possibilidade de que os usuários se situem, orientem-se e compreendam o que acontece no espaço, sem precisar buscar informações, ou seja, de forma autônoma e segura.

A NBR 9050/2015 também estabelece parâmetros construtivos para as rotas acessíveis e rotas de fuga. “A rota acessível é um trajeto contínuo, desobstruído e sinalizado, que conecta os ambientes internos e externos de espaços e edificações, e que pode ser utilizada de forma autônoma e segura por todas as pessoas” (NBR 9050/2015). A rota acessível pode coincidir com a rota de fuga, que deve atender ao disposto na NBR 9077/2001. Além disso, todas as portas que fazem parte das rotas de fuga devem ter barras antipânico (NBR 11785). Quando em ambientes fechados, as rotas de fuga incorporam escadas de emergência ou elevadores de emergência, devendo ser previstas áreas de resgate, com espaço reservado e demarcado para o posicionamento de pessoas com cadeiras de roda. Caso a área de resgate seja inexistente, deve ser definido um plano de fuga, em que estejam estabelecidos procedimentos de resgate para pessoas com diferentes tipos de deficiências.

Neste trabalho, a NBR 9050/2015 será utilizada para que sejam elencados critérios de acessibilidade que confirmem, aos espaços que reúnem grande público, melhores condições de movimentação em situações onde seja necessário o esvaziamento emergencial para pessoas com e sem deficiência.

2.3.4. IN/DAT/CBMSC 009/2014 “Sistema de Saída de Emergência”

A instrução normativa IN 009/2014 tem por objetivo estabelecer e padronizar critérios de concepção e dimensionamento do sistema de saídas de emergência, dos processos analisados e fiscalizados pelo Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (CBMSC). Em praticamente todos os estados brasileiros existem instruções normativas com este mesmo objetivo. Tanto esta instrução como a dos outros estados do Brasil, utilizam como referência na sua elaboração algumas normas brasileiras, entre elas a NBR 9077/2001. A IN 009/2014 fixa as condições mínimas para as saídas de emergência em edificações a fim de que seus usuários

possam abandoná-las, em caso de emergência, completamente protegidos em sua integridade física. Também descreve que, todas as edificações, independente da natureza de sua ocupação, altura ou área total construída, devem atender ao disposto na instrução normativa.

A IN 009/2014 define que os elementos que compõem as saídas de emergência, como circulações e corredores, devem ter condições que permitam escoamento fácil dos usuários, devem estar desobstruídos (sem obstáculo) e dimensionados em função dos pavimentos que servirem aos ocupantes, de acordo com o exposto na instrução normativa. Além disso, define critérios de dimensionamento para caminhamento, que são distâncias máximas a serem percorridas em caso de esvaziamento emergencial, tanto para edificações térreas, quanto para edificações verticalizadas e critérios para controle de lotação de público (IN 009/2014).

2.3.5. IT11/2019 “Saídas de Emergência”

A Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (IT 11/2019) tem como objetivo estabelecer os requisitos mínimos necessários para o dimensionamento das saídas de emergência, para que sua população possa abandonar a edificação, em caso de incêndio ou pânico, completamente protegida em sua integridade física e permitir o acesso de guarnições de bombeiros para o combate ao fogo ou retirada de pessoas, atendendo ao previsto no Regulamento de Segurança contra incêndio e áreas de risco.

Esta instrução técnica utiliza como referência leis e normas tanto nacionais quanto internacionais, como as NBRs 9050 e 9077 abordadas acima, o NFPA101 - Life Safety Code, o The Building Regulations – Means of Escape, o BS 7941-1 – Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces e o Japan International Cooperation Agency, que é o Código de Segurança Japonês. A IT11/2019 aplica-se a quase todos tipos de edificações, inclusive os destinados a reunião de grande público, do tipo boates e clubes sociais.

A IT11/2019, assim como a NBR 9077 e a IN/DAT/CBMSC 009/2014, define os parâmetros utilizados no dimensionamento das saídas de emergência, estando diretamente associados à ocupação da edificação, à densidade ocupacional e aos conceitos de unidade e capacidade de passagem. A ocupação corresponde ao uso da edificação e está vinculada à função social, econômica, comercial ou técnica exercida em uma edificação.

As saídas de emergência são dimensionadas em função da população da edificação e são calculadas através dos coeficientes de densidade ocupacional. A NBR 9077 (ABNT, 2001) e a IT 11 (CORPO..., 2019) apresentam duas definições necessárias para o entendimento das equações de dimensionamento de saídas:

- a) unidade de passagem (UP), fixada em 0,55 m, que é a largura mínima para a passagem de uma fila de pessoas; e
- b) capacidade de uma unidade de passagem (C), que é o número de pessoas que passa por esta unidade durante o intervalo de 1 min.

2.4. A SEGURANÇA NA EVACUAÇÃO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

A segurança das pessoas durante um incêndio em uma edificação encontra-se estreitamente relacionada ao seu direcionamento para um local seguro, influenciada pelo tempo de abandono da edificação. Em uma situação de incêndio, o ideal para este tempo é que ele seja o mais curto possível. Porém, para o cálculo do tempo mínimo necessário para uma fuga segura de toda população de um edifício, devem ser consideradas variáveis presentes em cada caso, pois todo o sistema predial, contando com sua estrutura, material de acabamento, cumprimento das normas de segurança contra incêndio e acessibilidade, área, altura, configuração dos ambientes, população etc., pode causar certo tipo de influência (SEITO et. al., 2008).

O tempo de abandono de uma edificação está relacionado à velocidade de escoamento da população. Esta velocidade é um valor recomendado por norma ou legislação, porém apenas através da capacidade das unidades de passagem, que se dá pelo número de pessoas que devem passar por cada unidade de passagem dentro de um minuto, como relatado por Brentano (2010). O autor ainda afirma que:

[...] além de se determinar as dimensões mínimas de rotas de saídas é importante calcular o tempo máximo para a desocupação total da edificação. Este tempo será uma estimativa, pois não é possível prever todas as variáveis que podem estar envolvidas numa desocupação posteriormente à elaboração do projeto (Brentano, 2010, p. 183).

Algumas condições devem ser satisfeitas para que o tempo de abandono de um local seja adequado. As normas e regulamentações abordadas procuram garantir que os usuários fiquem expostos o mínimo tempo possível aos efeitos de um incêndio, determinando, entre outros fatores, o caminhar máximo dos indivíduos até o local exterior seguro. Para a definição das distâncias, a NBR 9077/2001 e as Instruções Técnicas e Normativas levam em consideração o tipo de ocupação da edificação, a compartimentação e a resistência da estrutura ao fogo (GILL, et al., 2006).

As normas brasileiras definem o tempo total de evacuação baseado na capacidade da unidade de passagem, que nada mais é que o número de pessoas que passam por um determinado espaço em um minuto. Conforme as normas, para a classificação de locais de

reunião de público, a capacidade de cada unidade de passagem é de cem pessoas em casos de deslocamento horizontal e de sessenta pessoas em escadas. Como a Equação 1 determina que N (número de unidades de passagem) é calculado pela divisão de P (população total da edificação) por C (capacidade da unidade de passagem) o número de pessoas que devem passar pelas saídas em um minuto pode ser determinado pela Equação 2, onde a capacidade da unidade de passagem é multiplicada pelo número de unidades de passagens.

$$N = \frac{P}{C} \quad (1)$$

$$\text{Pessoas que devem evacuar em 1 minuto} = N \times C \quad (2)$$

Onde:

N = número de unidades de passagens calculado pela Equação 1 e adimensional

P = população da edificação

C = capacidade da unidade de passagem (número de pessoas que devem passar peça unidades de passagem no tempo de um minuto)

Considerando as Equações 1 e 2, vê-se que as normas brasileiras não definem um tempo total de evacuação, pois determinam apenas o tempo máximo de passagem pelas saídas em um minuto. Para o tempo total de evacuação, também deve-se levar em consideração o tempo necessário até chegar as saídas, e não apenas a distância máxima a ser percorrida até as saídas como é previsto nas normas brasileiras. Neste aspecto podemos dizer que as normas internacionais são mais específicas, tendo em vista que a NBS Building Regulations (2006) determina um tempo máximo total para evacuação de dois minutos e trinta segundos.

Contudo, é necessário compreender que o tempo de abandono não se restringe a este tempo de caminhada e é constituído, na realidade, por uma somatória de parcelas de tempo de amplitudes variáveis. A Norma BS 7974 (British Standards Institute, 2001) define esses tempos parciais, dividindo-os, a partir do momento do início do incêndio, em: a) tempo para detecção do incêndio; b) tempo para alarme do incêndio; c) tempo para reconhecimento da situação após o alarme; d) tempo para resposta ao alarme; e) tempo para o caminhada/deslocamento até o local seguro (GILL, et al., 2006).

O tempo de percurso é aquele efetivamente gasto no deslocamento da saída. Inúmeros fatores influem nesse tempo, como o estado físico e mental das pessoas e a idade, entre outros. Este é o tempo que está relacionado às distâncias de caminhada citadas nas normas e regulamentações (GILL, et al. 2006). Segundo Seito et al. (2008), é por meio de treinamento em conjunto que se obtém a familiarização das pessoas para a cadência e movimentação adequada.

Ainda segundo o autor, existem três aspectos importantes na velocidade das pessoas: o ângulo do passo, que é formado pela linha de direção da marcha e o eixo do pé; a cadência da marcha, que é o número de passos por minuto, fator que depende do local, do treinamento das pessoas e da densidade populacional na rota de evacuação; e a velocidade, que representa o espaço percorrido por minuto, e é igual ao produto do passo por sua cadência.

Quanto à velocidade de deslocamento, vários estudiosos a calcularam para diferentes situações. Primeiramente são apresentadas as pesquisas de MUROSAKI (1993 apud ONO, 2010), uma vez que possuem tabelas contendo o resumo de seus resultados, facilitando a consulta direta para aqueles que desejam utilizar os dados fornecidos. O autor faz uma síntese dos dados que prevaleciam nos métodos de cálculo japoneses até a década de 1990 (Tabela 2) (MUROSAKI 1993, apud ONO 2010). Destacam-se, na Tabela 2, a velocidade horizontal definida para as pessoas sem familiaridade com o ambiente, de 1,0 m/s, e de locais de reunião de público de alta densidade, 0,5 m/s.

Tabela 2 – Velocidade e fluxos médios adotados no Japão.

Autor	Situação	Capacidade de movimento em grupos de pessoas				
		Velocidade m/s		Fluxo (pessoas/(m/s))		
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	
Horiuchi e Togawa (1972) (1955)	A	Para pessoas com mobilidade reduzida	0,8	0,4	1,3	1,1
	B	Para pessoa sem familiaridade com o ambiente	1,0	0,5	1,5	1,3
	C	Para pessoa com familiaridade com o ambiente	1,3	0,6	1,6	1,4
Guia de Orientação de Projeto (1985)	A	Corredores e quartos de hospitais Locais de reunião de público de alta densidade.	0,5	0,25	0,75	--
	B	Ocupações com população alta flutuante Corredores de uso comum	1,0	0,5	1,5	1,3
	C	Salas de escritórios e escolas	1,3			

Fonte: Murosaqui (1993, p. 134, apud ONO, 2010, p. 81)

No entanto, diversos autores, tais como Nakamura (1975), Togawa (1975), Nelson & Macleannan (1988), o Manual de Engenharia e Proteção Contra Incêndio da Society of Fire Protection Engineers (SFPE) dos EUA (NELSON; MOWRER, 2002) e o Guia de Engenharia de SFPE – Comportamento Humano em Incêndios (SOCIETY...,2017), estabeleceram diferentes expressões relacionando a velocidade com a densidade. Em todos eles encontra-se a relação da influência da densidade populacional com a velocidade de deslocamento, sendo que para baixas densidades, a velocidade de um conjunto de pessoas aproxima-se da velocidade livre de cada indivíduo, mas a medida que a densidade aumenta há diminuição da velocidade que se torna praticamente nula para densidades extremamente elevadas. Isto ocorre principalmente porque, como já foi citado anteriormente, a cadência da marcha é alterada, pois quanto maior a densidade, menor será o número de passos possíveis em um determinado tempo. Em sequência estão as expressões e/ou os gráficos estabelecidas (os) pelos autores citados, onde: v = velocidade (m/s); e D = densidade (pessoas/m²).

Nakamura (1975) apresenta a seguinte expressão para velocidades horizontais:

- a) Para $D \leq 1$ a velocidade é de 1,243 metros / segundo.
- b) Para $D > 1$ a velocidade se da pela seguinte equação:

$$v = -0,26 + \left(\frac{2,39}{D} - 0,13 \right)^{0,5} \quad (3)$$

Togawa (1975) considera para velocidades em circulações horizontais as seguintes expressões:

- a) Para $D \leq 1$ é considerada a velocidade de 1,3 metros / segundo.
- b) Para $D > 1$ é considerada a seguinte equação:

$$v = 1,3D^{-0,8} \quad (4)$$

Para Nelson & Macleannan (1988), as velocidades em circulações horizontais são definidas pelas seguintes expressões:

- a) Para $D < 0,5$ a velocidade é de 1,19 metros/segundo.
- b) Para $0,5 \leq D < 3,8$ a velocidade se da pela seguinte equação:

$$v = 1,37 - 0,36031D \quad (5)$$

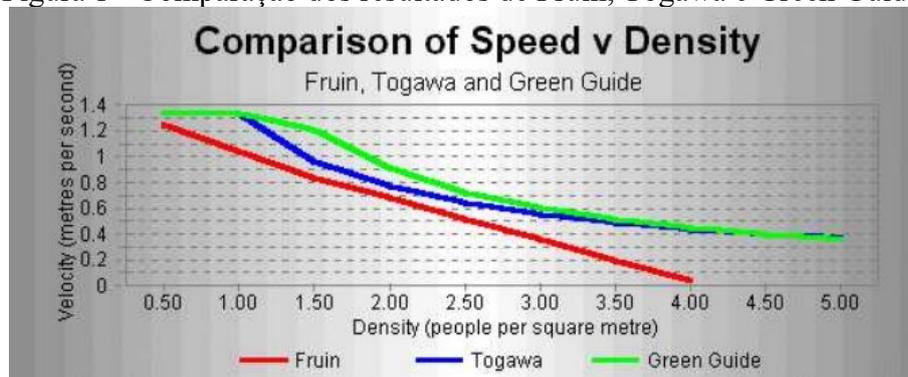
- c) Para $D \geq 3,8$ a velocidade é igual a zero.

No Manual de Engenharia e Proteção Contra Incêndio da Society of Fire Protection Engineers (SFPE) dos EUA (NELSON; MOWRER, 2002) e no Guia de Engenharia de SFPE – Comportamento Humano em Incêndios (SOCIETY...,2017) a velocidade é influenciada pela densidade de cada setor, através da Equação 6. Para densidade iguais ou superiores a 3,8 pessoas/metro quadrado a Equação 6 tenderá a zero, indicando que o movimento irá parar.

$$v = 1,40 - (0,372 \times D) \quad (6)$$

Outros estudos que se destacam quanto a cálculos da velocidade de deslocamento são os de Fruin (1971), que realizou estudos observando a velocidade de deslocamento em ruas da cidade, e o Green Guide (1997), que realizou estudos observando a velocidade de deslocamento em áreas esportivas, encontrados na tese de Phd de Keith Still (2000). Estes estudos também relacionam a velocidade de deslocamento com a densidade, como pode ser visto na Figura 1. O Green Guide utiliza como base a expressão de Togawa (Equação 4), porém no lugar da constante 1,3 m/s é utilizada a constante de 1,34 m/s que foi determinada considerando observações em multidões europeias medidas dentro e fora do Estádio de Wembley além de outros locais da Grã-Bretanha.

Figura 1 - Comparação dos resultados de Fruin, Togawa e Green Guide.

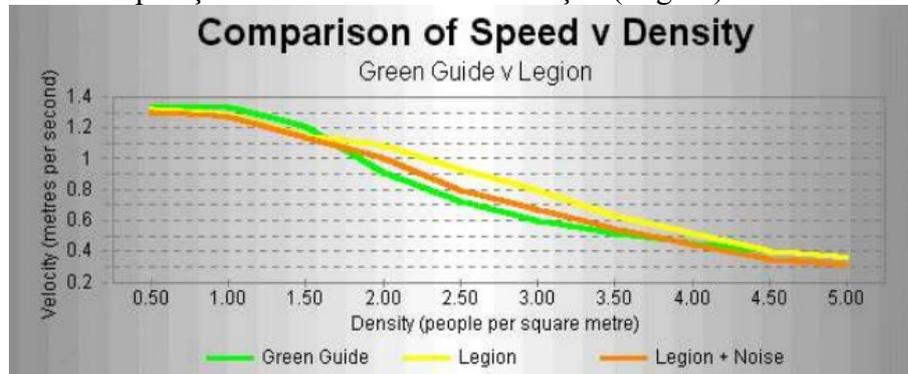


Fonte: Still (2000)

Still (2000), criou um modelo de simulação de evacuação e realizou diversos testes, comparando seus resultados aos de Fruin (1971), Togawa (1971), e ao Green Guide (1997). Ele nomeou seu modelo de simulação como Legion onde realizou simulações livres de ruído, pois as pessoas na simulação não param, hesitam, desviam, distraem-se ou caem, e adicionando um nível de ruído (noise) de 25%, onde em 25% das vezes as pessoas escolhem desacelerar e combinar velocidades com uma outra pessoa que está se movendo em sua direção, em vez de

realizar uma manobra de ultrapassagem. Nestes casos o resultado de sua simulação ficaram mais de acordo com os dados existentes no Green Guide (Figura 2).

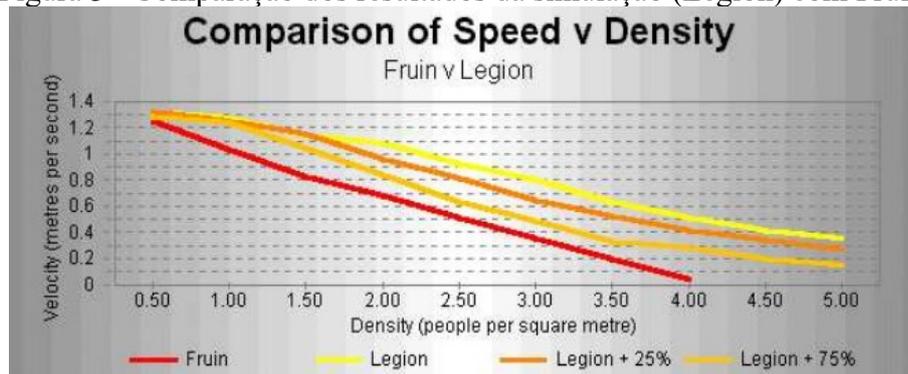
Figura 2 - Comparação dos resultados da simulação (Legion) com o Green Guide.



Fonte: Still (2000)

Porém, quando Still realizou testes de simulação aumentando a porcentagem de ruído, conforme pode ser visto na Figura 3, os resultados de seus testes se assemelhavam aos dados de Fruin. Ele concluiu com isto que a principal diferença entre a multidão de rua em baixa densidade e multidões em áreas esportivas podem ser atribuídas pelas distrações encontradas na rua da cidade. Assim é possível concluir que a multidão dentro de um ambiente, no momento de evacuação, tende a se distrair menos do que a multidão em um rua da cidade, focando seu movimento sempre em direção a saída.

Figura 3 - Comparação dos resultados da simulação (Legion) com Fruin.

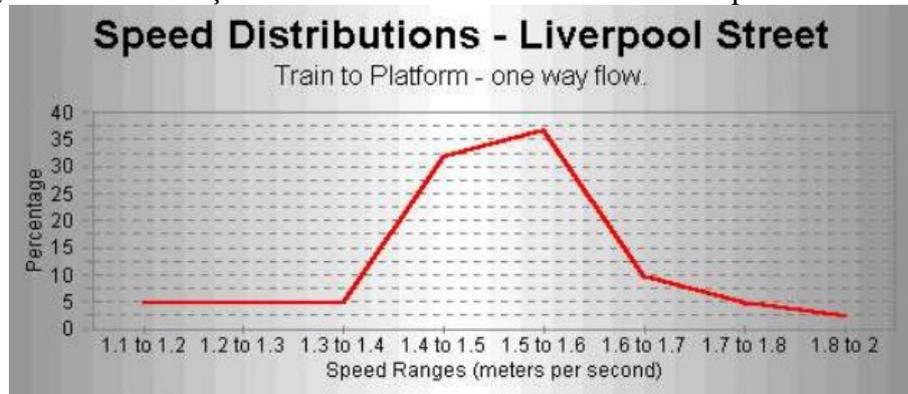


Fonte: Still (2000)

Com a finalidade de calibrar melhor seus estudos, Still (2000) também realizou medições de velocidade x densidade em uma estação de Londres, a Liverpool Street Station, na seção da plataforma subterrânea. A densidade medida foi de 1,48 pessoas por metro quadrado com velocidade média de deslocamento de 1,5 metros por segundo. Quando ele comparou os

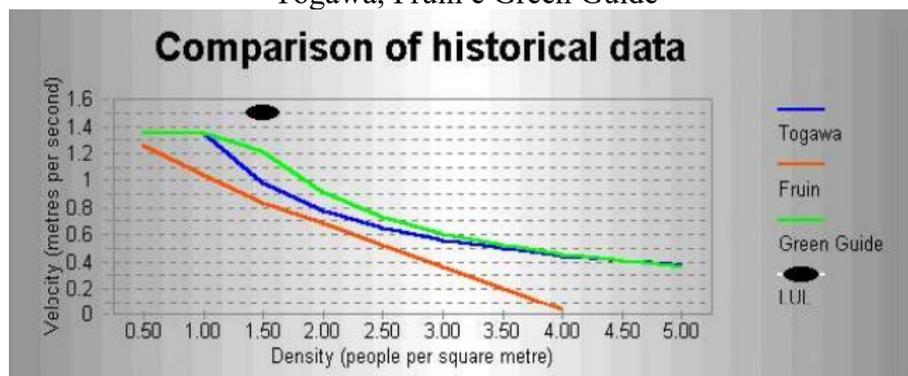
dados com Fruin, Togawa e o Green Guide, os resultados encontrados se mostraram divergentes.

Figura 4 - Distribuição das velocidades observadas na Liverpool Street Station



Fonte: Still (2000)

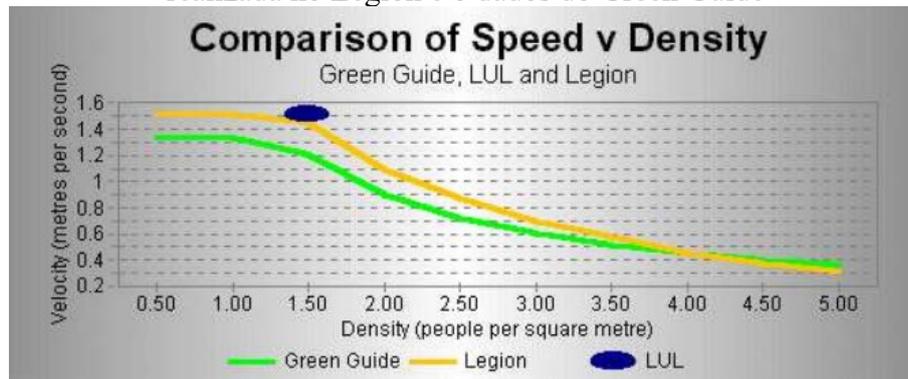
Figura 5 - Comparação dos dados obtidos na Liverpool Street Station com os dados de Togawa, Fruin e Green Guide



Fonte: Still (2000)

Após a comparação com os dados obtidos na Liverpool Street Station, os resultados encontrados pareciam fora de estatística (Figura 5), porém, quando Still (2000) altera a velocidade de deslocamento na sua simulação os dados são combinados. Como pode ser visto na Figura 6, alterar a velocidade na simulação produz ajuste nos dados, demonstrando que a distribuição de velocidade dos agentes é um fator determinante na dinâmica de multidão.

Figura 6 - Comparação dos dados obtidos na Liverpool Street Station, com a simulação realizada no Legion e o dados do Green Guide



Fonte: Still (2000)

Still (2000) também comparou seu modelo com o teste de evacuação de Paulsen, que esvaziou uma sala de 8,5 metros por 3 metros, cheia de pessoas, com largura da porta de 1,5 metros. Conforme Still (2000), Paulsen obteve resultados médios de 30,26 segundos, com desvio padrão de 2,64 segundos, para evacuação total da sala. Considerando uma velocidade de deslocamento de 1,34 m/s, com nível de ruído de 25%, os resultados obtidos por Still (2000) em sua simulação foram uma média de 29,90 segundos, com desvio padrão de 2,07 segundos, para evacuação total da sala. Neste caso, com a velocidade de 1,34 m/s a simulação ficou em conformidade com o teste realizado por Paulsen.

Helbling (2002), investigando o movimento de pedestres por vários anos e avaliando várias filmes em vídeo, descobriu que apesar da aparência às vezes mais ou menos “caótica” do indivíduo, podem ser encontradas regularidades no comportamento dos pedestres durante o deslocamento. Estas regularidades são fundamentais para determinar a velocidade de deslocamento dos indivíduos que mais se aproxima da realidade. Em situações normais, os pedestres preferem andar com a velocidade desejada individual, que corresponde a velocidade de caminhada mais confortável (ou seja, que consome menos energia) considerando que não seja necessário ir mais rápido para chegar ao destino a tempo. As velocidades desejadas nas multidões de pedestres possuem um valor médio de aproximadamente 1,34 m/s e desvio padrão de cerca de 0,26 m/s, o que está de acordo com o teste de Paulsen citado por Still (2000). Contudo, a velocidade média depende da situação, sexo e idade, a hora do dia, o objetivo da viagem, o ambiente, etc.

Os estudos já citados neste trabalho definem velocidades de deslocamento em situações diversas, porém todas normais. Realizando diversos estudos, Helbling (2002) verificou que em situações de pânico as pessoas tendem a tentar se deslocar com velocidades superiores a uma situação normal, e isto na verdade ocasiona um tempo total de evacuação

maior. Helbing et al. (2002) afirma que o fluxo simulado de um ambiente é bem coordenado e regular desde que as velocidades desejadas sejam normais e semelhantes entre os indivíduos. Segundo o autor, para velocidades desejadas superiores a 1,5 m/s, existe uma sucessão irregular de bloqueios. Isto ocorre porque quanto maior a diferença entre o fluxo de chegada e o de saída, maior a probabilidade de problemas críticos, especialmente se as pessoas estão tentando alcançar uma meta fortemente desejada ou tentando escapar de uma fonte de perigo. Nessas situações, os autores dizem que a alta densidade causa problemas de coordenação, quando várias pessoas começam a competir pelas mesmas poucas lacunas. Isso pode causar interações de corpos e efeitos de atrito, capazes de atrasar o movimento da multidão ou evacuação, daí o termo efeito rápido é mais lento. Este termo reflete a observação de que alguns processos levam mais tempo quando são executados em alta velocidade (Helbing e Johansson, 2011).

2.5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Com o avanço da tecnologia dos computadores, a modelagem de fluxos de pedestres tem sido amplamente utilizada e considerada como um instrumento essencial para avaliação de desempenho das construções e da qualidade das instalações para pedestres (HELBING et al., 2002; OSARAGI, 2004; SCHADSCHNEIDER, 2011; TEKNOMO et al., 2005). A simulação, nesta pesquisa, busca evidenciar aspectos da arquitetura que possam causar, retardar ou aumentar o tempo de evacuação dos locais analisados.

Os modelos computacionais de evacuação são ferramentas de uso crescente da engenharia de segurança contra incêndio (ONO, 2010). Segundo Valentin (2008), os modelos de evacuação podem ser categorizados em modelo de movimento, de comportamento parcial e comportamental. Os modelos de movimento simulam o deslocamento do ocupante de um ponto no interior da edificação para uma saída ou área segura. No modelo parcial já é possível simular comportamentos pouco complexos como o de ultrapassagem. Os modelos comportamentais podem incorporar a tomada de decisão ou ações desempenhadas devido às condições ambientais.

Conforme Fahy (2002), os modelos computacionais de evacuação são ferramentas importantes para a avaliação dos projetos de arquitetura no que concerne à segurança das pessoas, pois permitem calcular o tempo de fuga dos ocupantes de uma edificação. Para estimar o tempo de evacuação, o arquiteto possui uma quantidade enorme de modelos, desde resolução de equações simples, até mesmo modelos computacionais que simulam o comportamento humano em caso de fuga. Assim como os modelos de propagação do fogo podem prever a

movimentação da fumaça através de uma construção, os modelos de evacuação podem prever a movimentação das pessoas em um prédio no caso de fuga. Usando esses modelos em conjunto, é possível para o projetista verificar os riscos em que as pessoas estão envolvidas ainda na fase de elaboração do projeto (ALVES; CAMPOS; BRAGA, 2008).

Segundo Naylor et al. (1971), em essência, a simulação é uma técnica que consiste em realizar um modelo que imita uma situação real, e nele levar a cabo experiências. Conforme Ehrlich (1985), por meio da simulação não é possível obter, de imediato, resultados que levem a otimização de um objetivo desejado. Entretanto, é possível simular, por meio do modelo, uma série de experimentos em diferentes condições e, posteriormente, escolher a condição cujos resultados sejam mais aceitáveis.

Conforme Alves, Campos e Braga (2008) as simulações computacionais de incêndio e de evacuação constituem importantes ferramentas para elaboração de projetos, pois permitem levar em consideração a escolha dos materiais, distribuição dos espaços e comprovação do que prescreve a norma, além de possibilitar a adoção de soluções alternativas personalizadas de baixo custo, atendendo aos objetivos da segurança contra incêndio. Ainda segundo os mesmos autores, por meio das simulações computacionais pode-se propor medidas mais próximas da realidade, além de ser uma questão de economia. Pode-se também comprovar a eficácia do que está em norma, validar dados e avaliar a performance dos projetos quando submetidos a normas baseadas no desempenho. Desta forma, os profissionais podem aplicar as normas com mais segurança.

Conforme Kuligowski (2003), os modelos computacionais que simulam abandonos de edificações variam de acordo com as características introduzidas no modelo e são classificadas, de acordo com seus métodos de modelação, em três grupos: de movimento; de comportamento parcial; e de comportamento. ANDRADE (2014, p. 113) apresenta suas definições:

- Modelo de movimento: partem da premissa da existência de uma população homogênea e conseqüentemente fluxo e velocidades também homogêneos, o que acaba por se assemelhar a um modelo de fluxo hidráulico;
- Modelos de comportamento parcial: assemelham-se aos modelos de movimento, porém já introduzem alguns tipos de comportamentos, tais como tempo de pré-movimento e comportamento de ultrapassagem;
- Modelos de comportamento: são os mais completos e que incorporam além das questões citadas no modelo parcial, características individualizadas e reações a determinadas situações apresentadas no cenário, como a presença de fumaça e de fogo no ambiente, podendo chegar a simular desmaios e até a morte do ocupante.

No que se refere à simulação de evacuação baseada em agentes, existem diversos softwares disponíveis no mercado. Em um estudo comparativo de 28 modelos computacionais

de simulação de evacuação, Kuligowski (2004) destacou alguns e, entre estes, pode-se citar três que possuem funções que possibilitam a obtenção dos resultados buscados neste pesquisa: Simulex, BuildingExodus e Pathfinder.

O Simulex permite definir um edifício e seus ocupantes, e simular como eles se movem em torno de um edifício do dia-a-dia, além da evacuação durante uma emergência. O programa tem um uso simplificado e, em princípio, conseguiria atingir resultados buscados nesta pesquisa, porém não é gratuito, com seu custo de licença do software partindo do valor de cinquenta euros para estudantes (INTEGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS, 2018).

O Building Exodus é um software do Fire Safety Engineering Group (FSEG). O FSEG é o vencedor do Prêmio de Aniversário da Rainha, o Guardian Research Impact Award, e foi classificado como um dos principais grupos de pesquisa no Reino Unido nos últimos 10 anos (RAE2008 e REF2014). A maior equipe de pesquisa de modelagem de incêndio / evacuação baseada na universidade da Europa, a FSEG é especializada em engenharia de incêndio computacional, particularmente modelagem de incêndio e evacuação, dinâmica de evacuação em escala urbana e dinâmica de pedestres. O software pode ser usado para simulação de evacuação e análise de dinâmica e circulação de pedestres. Ele é composto por um conjunto de pacotes de software, adaptados aos ambientes do edifício, marítimo, ferroviário e de aeronaves (FIRE SAFETY ENGINEERING GROUP, 1997). O software possibilita resultados que atenderiam o objetivo desta pesquisa, porém seu custo de licença é bastante elevado, partindo de U\$ 3.900,00 para um ano de utilização, e seu uso bastante complexo.

O Pathfinder foi desenvolvido pela Thunderhead Engineering, que também desenvolveu o Fire Dynamics Simulator (FDS) em conjunto com o NIST (National Institute of Standards and Technology). Trata-se de uma versão mais avançada do próprio FDS, que permite a identificação dos principais fatores que afetam o processo de evacuação (atrasos, superlotação nas saídas em relação a larguras de saída, etc.). Além disso, o software possui licença gratuita para estudantes (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2014).

Cada software possui características e aplicabilidades específicas, necessitando que o usuário tenha conhecimento aprofundado dos conceitos da evacuação de edificações para não chegar a conclusões erradas. Avaliando os resultados que podem ser alcançados e a disponibilidade dos softwares, na presente pesquisa optou-se por utilizar o Pathfinder. A realização das simulações de evacuação no software demonstram resultados quanto ao tempo total de evacuação, variações no movimento dos ocupantes, visualização tridimensional, identificação de zonas de aglomeração, entre outras características.

2.5.1. Pathfinder

O Pathfinder combina um mecanismo de simulação com controle flexível sobre população e comportamento para oferecer melhores resultados. Ele é um simulador de saída de emergência que inclui uma interface de usuário integrada e resultados 3D animados. O Pathfinder permite avaliar modelos de evacuação mais rapidamente e produzir gráficos realistas. Conforme Valentin (2008), os softwares de simulação que preveem o tempo necessário para os ocupantes abandonarem um edifício são frequentemente utilizados nos códigos baseados em desempenho, como solução alternativa aos códigos prescritivos, a fim de determinar quais são as áreas críticas durante o processo de abandono.

O software suporta dois modos de simulação de movimento, o “Society of Fire Protection Engineers (SFPE)” e o “Steering”. No primeiro, as portas não atuam para limitar o fluxo dos ocupantes, eles são orientados a manter uma distância razoável uns dos outros, evitando, assim, colisões. No segundo modo, as portas impõem um limite de fluxo e a velocidade é controlada pela densidade de ocupantes sendo possível identificar locais de congestionamento, gargalos e obstáculos. (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2014). Nos testes desta pesquisa será utilizado o modo Steering, pois é um modelo baseado na metodologia de comportamentos de direção desenvolvida por Reynold (1999) e refinada por Amor, Murray e Obst (2006), permitindo uma análise mais complexa alinhada com uma representação dos processos humanos, no qual surgem os congestionamentos. Circunstâncias mais complexas podem emergir naturalmente como subprodutos dos algoritmos de circulação eliminando a necessidade explícita de filas em portas, embora ainda possam ocorrer, e cálculos de densidade.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente capítulo descreve o método adotado nesta pesquisa para a identificação do impacto dos projetos de saídas de emergência no tempo de evacuação dos locais de reunião de público. Espera-se que essa avaliação possa auxiliar arquitetos e engenheiros a obterem diretrizes para a elaboração de novos espaços que possuam uma maior efetividade na segurança dos usuários.

A metodologia proposta nesta pesquisa faz com que ela seja classificada como experimental, tendo como finalidade testar as hipóteses do pesquisador enquanto um agente ativo e não como um observador passivo. Busca avaliar o desempenho das alterações nos projetos de saídas de emergência, escolhidas a partir de bibliografias existentes e normas e legislação vigentes quanto à segurança na evacuação das multidões em situações de emergência causadas por incêndios em locais de reunião de público. A ferramenta utilizada para se testar as hipóteses criadas é simulação computacional.

Desta forma, o método científico adotado foi o método hipotético-dedutivo. Segundo Popper (apud LAKATOS; MARCONI), o método hipotético dedutivo pode ser explicado a partir do seguinte esquema: Problema – Hipóteses – Testagem – Análise dos resultados – Refutação ou Corroboração (LAKATOS; MARCONI, 2003). Popper (1975a, p.346 apud LAKATOS; MARCONI, 2003, p. 96) cita um escrito de Albert Einstein em favor desse método “na medida em que um enunciado científico se refere a realidade, ele tem que ser falseável; na medida em que não é falseável, não se refere a realidade.”

De acordo com a metodologia escolhida, as etapas metodológicas de desenvolvimento do presente trabalho são:

- a) Formulação do problema
- b) Definição dos critérios de avaliação
- c) Definição dos estudos de caso
- d) Determinação das hipóteses a serem testadas
- e) Definição do software utilizado para simulação computacional
- f) Testagem utilizando simulação computacional
- g) Avaliação e comparação dos resultados x normas e legislação vigentes
- h) Elaboração de sugestões para futuros projetos de rotas de fuga

Formulação do problema: trata-se da etapa de identificação do elemento do projeto arquitetônico que mais interfere na segurança da evacuação de pessoas em situações de emergência. Esta etapa consiste na formulação do problema de pesquisa e da pergunta de

pesquisa deste trabalho, sendo estas definidas com base em estudos bibliográficos em cima das tragédias que já aconteceram no Brasil e no mundo.

Definição dos critérios de avaliação: esta etapa consiste na definição dos critérios para a avaliação da interferência do projeto arquitetônico das saídas de emergência na segurança da evacuação das multidões em situações de incêndios. Para esta definição serão consideradas as referências bibliográficas presentes nesta pesquisa.

Definição dos estudos de caso: nesta etapa, serão elaborados estudos de caso com a finalidade de se realizar testes por meio de simulação computacional para avaliar a interferência das alterações no projeto arquitetônico das saídas de emergência na evacuação de locais de reunião de público em situação de emergência. Para a elaboração dos estudos de caso, serão adotadas plantas de edificações onde identificar-se-á o nível de atendimento às normas e legislação vigentes, podendo ser necessário indicar necessidades de adequação para o pleno atendimento as normas e legislação vigentes.

Determinação das hipóteses a serem testadas: as hipóteses serão definidas através de possíveis alterações no projeto arquitetônico das saídas de emergência, quanto ao posicionamento e dimensionamento das saídas e rotas de fuga, mantendo a edificação em cumprimento às normas e legislação vigentes, mas que possam alterar os resultados no que se refere ao tempo total de evacuação.

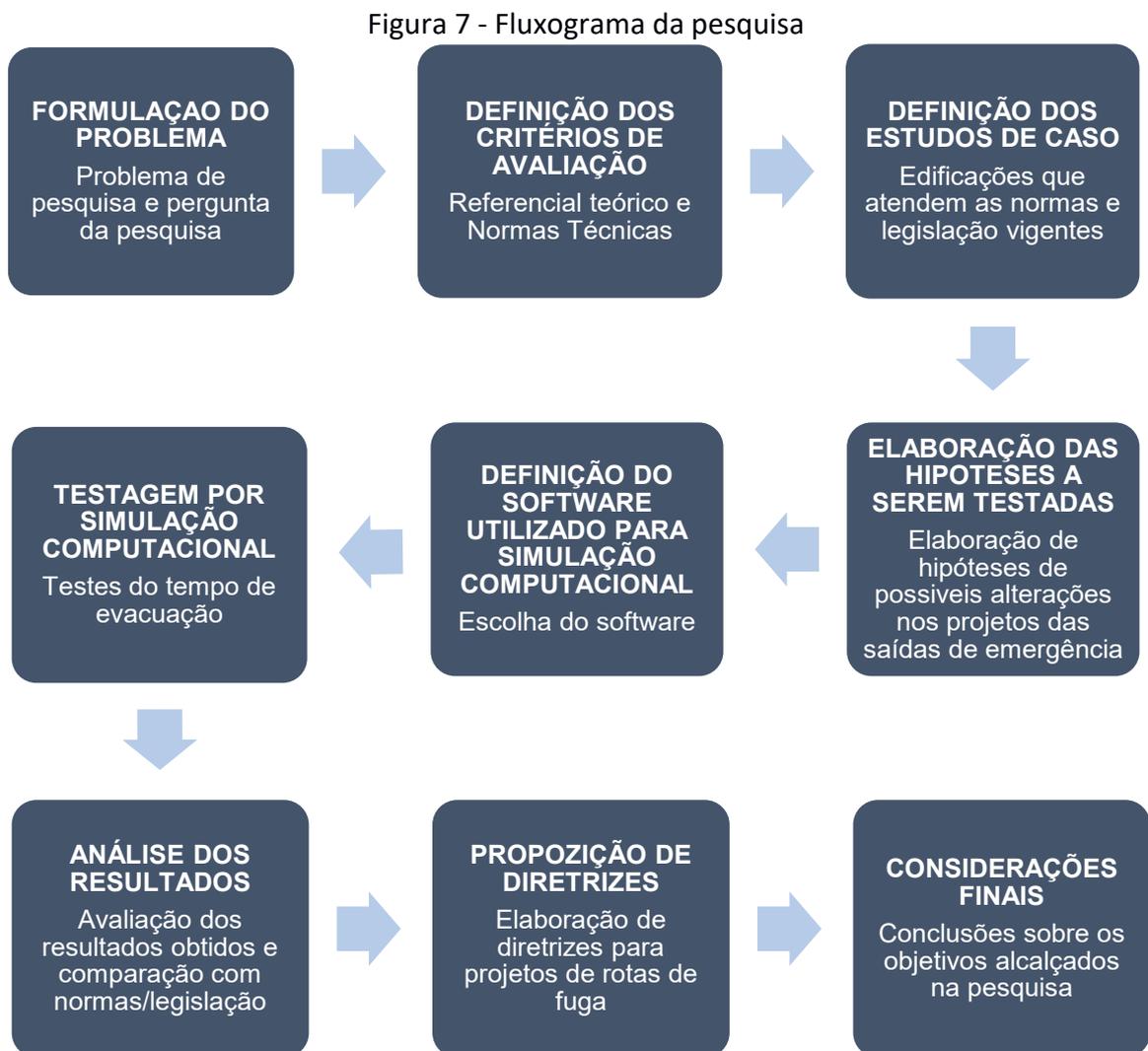
Definição do software utilizado para simulação computacional: para que seja possível a obtenção dos resultados desejados com esta pesquisa é necessária a escolha de um software de simulação computacional de evacuação que apresente resultados que demonstrem de forma clara o tempo total de evacuação e os motivos que ocasionaram no aumento ou redução deste tempo. Além disso o software deve ser de fácil acesso e domínio para uma melhor utilização das ferramentas disponíveis.

Testagem utilizando simulação computacional: serão aplicados testes utilizando simulação computacional com a finalidade de se confirmar ou não as hipóteses. A partir da aplicação, será avaliada a efetividade da evacuação dos espaços em situação de emergência, a fim de indicar necessidades de adequação nos projetos das saídas de emergência.

Avaliação e comparação dos resultados encontrados x normas e legislações vigentes: a verificação dos resultados obtidos na avaliação aplicada neste trabalho e posterior comparação com as diretrizes das normas e legislação que regem os planejamentos e projetos de locais de reunião de público. Este comparativo se dará através da relação entre os resultados obtidos nos testes de evacuação com as determinações constantes nas normas sobre o tempo total de evacuação das edificações.

Elaboração de sugestões para futuros projetos de rotas de fuga: após a análise dos resultados obtidos, serão propostas diretrizes para projetos de rotas de fuga de locais de reunião de público. Estas diretrizes serão elaboradas visando a redução no tempo total de evacuação das edificações.

A fim de demonstrar de forma mais sintetizada o processo de desenvolvimento desta pesquisa, foi elaborado um fluxograma. A Figura 7 mostra as etapas deste trabalho, onde cada fase é representada por um retângulo.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Considerando que esta pesquisa é classificada como experimental, para obtenção dos resultados, em primeiro lugar deve ser identificado um problema. Conforme estudos bibliográficos que avaliaram tragédias já ocorridas, é constatado que o motivo que mais causa

mortes em tragédias em locais de reunião de público é a dificuldade de evacuação, muitas vezes ocasionada pelo mal dimensionamento das saídas de emergência. Portanto, o problema desta pesquisa trata-se justamente da qualidade do projeto arquitetônico das saídas de emergência em edifícios e, com a finalidade de se identificar as interferências do projeto arquitetônico das saídas de emergência no tempo total de evacuação, elaborou-se a pergunta de pesquisa deste trabalho: Qual a interferência do projeto arquitetônico das saídas de emergência no tempo total de evacuação dos ocupantes de locais de reunião de público?

Conforme a metodologia desta pesquisa, após identificado o problema, foram elaborados os critérios para avaliação dos projetos arquitetônicos das saídas de emergência em locais de reunião de público do tipo boates. Estes critérios consistem principalmente na identificação do que pode proporcionar uma evacuação mais segura e como isto se relaciona com os projetos de saídas de emergência.

3.2. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A qualidade do projeto das saídas de emergência está diretamente ligada à segurança dos ocupantes das edificações. Conforme pode ser visto nas referências bibliográficas desta pesquisa, a segurança na evacuação de uma edificação em situação de emergência depende diretamente do tempo total de evacuação da edificação. Desta forma, o principal critério de avaliação quanto a qualidade do projeto arquitetônico das saídas de emergência é o tempo total de evacuação que elas proporcionam.

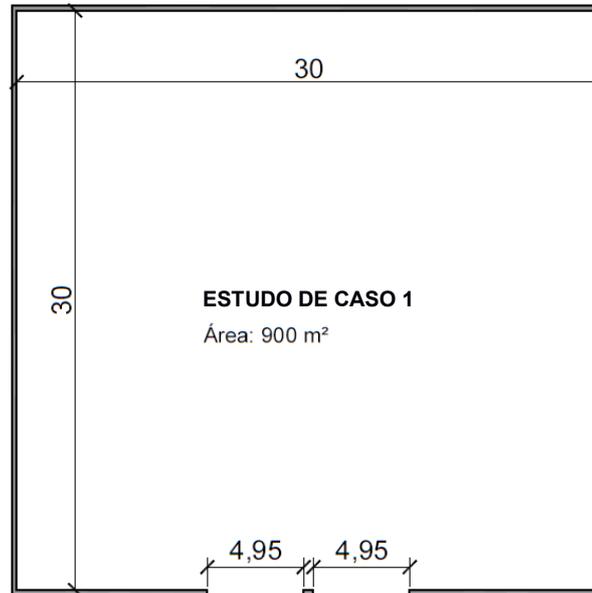
Conforme abordado nas referências deste trabalho, enquanto as normas brasileiras definem apenas a capacidade das unidades de passagem e as distâncias máximas a serem percorridas até as saídas de emergência, a NBS Building Regulations (2006) define o tempo total máximo para evacuação em dois minutos e meio. A fim de avaliar a qualidade dos projetos de saídas de emergência, assim como se as saídas de emergência que estão em conformidade com as diretrizes das normas brasileiras atendem o tempo definido para uma evacuação segura, serão comparados os resultados obtidos nas simulações computacionais com o tempo total máximo de evacuação definido pela NBS Building Regulations (2006). Sendo assim, o projeto das saídas de emergência será avaliado de forma que, quanto menor o tempo de evacuação atingido, melhor projetada está a saída de emergência, pretendendo-se constatar se este tempo está dentro do recomendado pela NBS Building Regulations (2006).

3.3. DEFINIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Para realização dos testes com a finalidade de se confirmar ou não as hipóteses a serem testadas neste trabalho, conforme metodologia escolhida, foram elaborados três estudos de caso. Foram considerados parâmetros contidos nas normas que determinam as diretrizes para as saídas de emergências em edificações. As normas utilizadas foram a NBR 9077, a IN 009/2014 e a IT 11/2017. Os parâmetros utilizados foram: classificação da edificação, distância máxima a percorrer, população máxima e número mínimo de saídas de emergência. Como parte da metodologia consiste na realização de testes utilizando simulação computacional de evacuação em locais de reunião de público, conforme as diretrizes das normas para esta classificação, a distância máxima a percorrer até a saída de emergência mais próxima é de trinta metros, considerando edificação sem chuveiros automáticos, com população máxima de duas pessoas por metro quadrado e número mínimo de duas saídas de emergência.

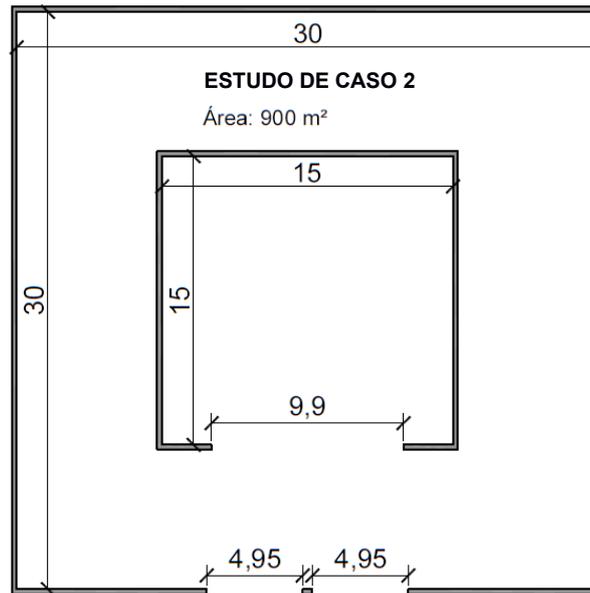
Desta forma, o primeiro estudo de caso elaborado consiste em analisar alterações de projetos de saídas de emergência em uma sala quadrada com dimensões de 30 metros em cada face (30x30 m), com área de 900 m² e população de 1800 pessoas. A dimensão total das saídas foi adotada de acordo com a NBR 9077, que determina que para edificação de local de reunião de público com população de 1800 pessoas a saída deve ter 18 unidades de passagem. Como a largura de cada unidade de passagem é de 0,55 metros, conforme a NBR 9077, as saídas devem ter no total 9,90 metros. O objetivo com este estudo de caso é analisar como se comporta a evacuação em um ambiente único conforme são feitas alterações nas saídas de emergência.

Figura 8 - Estudo de caso 1



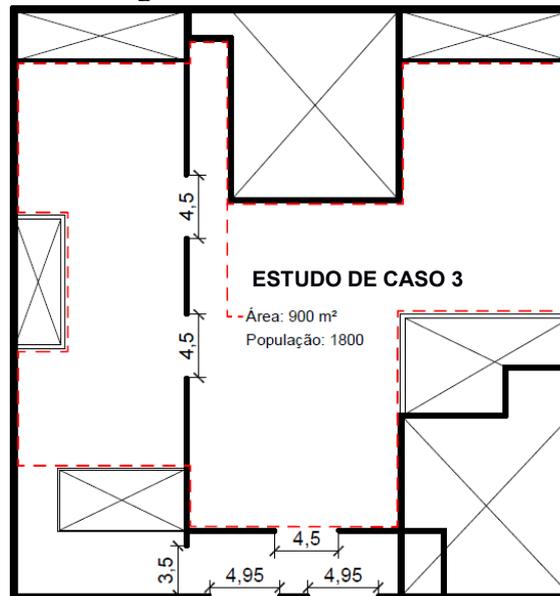
O segundo estudo de caso consiste na inclusão de um segundo ambiente, interno, com dimensões de 15 metros em cada face (15x15 m), posicionado no centro da planta, com um acesso dimensionado de acordo com a dimensão das saídas de emergência. Como pode ser visto na Figura 9, este acesso foi posicionado em frente as saídas de emergência. Os ocupantes ficam posicionados inicialmente distribuídos por todo o cenário. O objetivo ao se realizar testes de simulação neste caso é verificar as interferências no tempo total de evacuação causadas pela interação entre o posicionamento do acesso ao ambiente interno com o posicionamento das saídas de emergência.

Figura 9 - Estudo de caso 2



O terceiro estudo de caso foi elaborado com a forma de uma planta baixa de local de reunião de público do tipo boate, utilizando-se o layout da Boate Kiss como base (Figura 10), incluindo as alterações necessárias para que a planta estivesse de acordo com as definições das normas e para que tivesse a capacidade de 1800 ocupantes possibilitando a comparação com os testes realizados nos demais estudos de caso. A escolha deste layout se deu por ser o layout responsável pela mais recente tragédia no Brasil em locais do tipo boates e pela disponibilidade e publicidade do layout. O objetivo ao se realizar simulações neste caso é de identificar a interferência das alterações de projeto de saídas de emergência no tempo total de evacuação em locais com diversos ambientes e que se aproximem mais da realidade dos locais do tipo boates e clubes noturnos.

Figura 10 - Estudo de caso 3



3.4. DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES A SEREM TESTADAS

Conforme a metodologia proposta nesta pesquisa, e como a finalidade deste trabalho é identificar a interferência das alterações projetuais das saídas de emergência na segurança da evacuação, para cada estudo de caso serão realizados testes alterando o posicionamento, a quantidade e o dimensionamento das saídas de emergência. Foram elaboradas hipóteses a serem testadas para identificar o tempo total de evacuação, se ele está de acordo com o tempo máximo estipulado pela NBS Building Regulations (2006), as áreas da edificação com maior tempo de evacuação, e os pontos de aglomeração e pontos de bloqueio durante a movimentação da multidão. As hipóteses a serem testadas nesta pesquisa são:

- a) Edificações com saídas projetadas de acordo com as determinações das normas brasileiras atendem o tempo total máximo para uma evacuação segura determinado pela NBS Building Regulations (2006)?
- b) Alterar o posicionamento das saídas reduz o tempo total de evacuação? O tempo total atende o máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006)?
- c) Aumentar o número de saídas, mantendo o dimensionamento de acordo com as normas, reduz o tempo total de evacuação? O tempo total máximo atende o determinado pela NBS Building Regulations (2006)?

- d) Aumentar o dimensionamento das saídas em 25% e 50% reduz o tempo total de evacuação? O tempo total atende máximo o determinado pela a NBS Building Regulations (2006)?
- e) Aumentar o dimensionamento (largura) de todas as passagens que compõem a rota de fuga faz com que o tempo total de evacuação esteja de acordo com o determinado pela NBS Building Regulations (2006)?

3.5. DEFINIÇÃO DO SOFTWARE UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES

Para a escolha do software, foi levada em consideração a profundidade da análise a respeito do movimento das pessoas e da influência da edificação nesse movimento. Esta influência é determinada pelo tempo de desocupação total da edificação a partir de diferentes cenários envolvendo situações de incêndio. Desta forma, o software escolhido foi o Pathfinder, que simula o comportamento de fuga das pessoas, determina o tempo total de evacuação e indica pontos de aglomeração na edificação.

Os dados coletados, a partir dos testes realizados com as simulações no Pathfinder serão confrontados com o que está indicado nas normas e legislação vigentes, que determinam as diretrizes para os projetos de saídas de emergência. A finalidade é constatar os aspectos do projeto arquitetônico das saídas de emergência que mais interferem na segurança da evacuação dos locais de reunião de público em situações de emergência. As divergências e confluências entre os resultados obtidos e os preceitos normativos serão avaliadas a fim de possibilitar a elaboração de diretrizes para concepção de projetos arquitetônicos de locais de reunião de público que sejam mais seguros para seus usuários.

3.6. TESTES UTILIZANDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

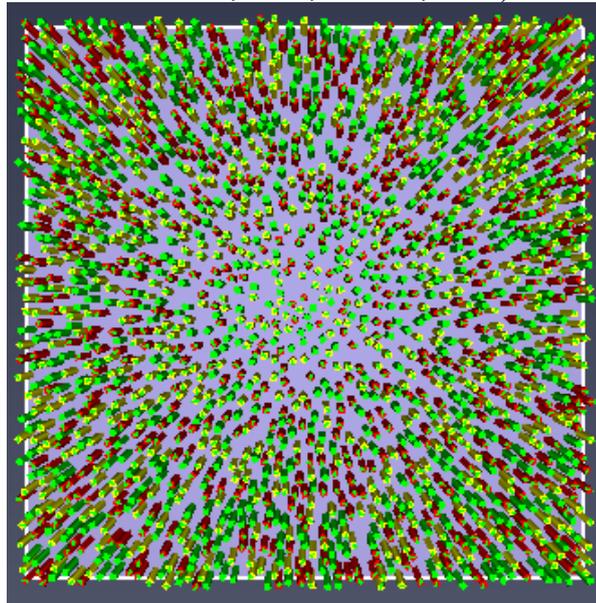
Um condicionante importante para verificar o tempo de evacuação dos ocupantes de uma edificação é a velocidade de deslocamento da multidão. Conforme já abordado nas referências bibliográficas, os ajustes na velocidade de deslocamento são determinantes nos resultados obtidos (Still, 2000). Todos os autores estudados neste trabalho entendem que quanto maior a densidade, menor e a velocidade de deslocamento em situações normais, porém não há um consenso entre os resultados encontrados por eles quanto a definição destas velocidades. Alguns consideram em seus estudos velocidades extremamente conservadoras para locais de reunião de público com densidade de duas pessoas por metro quadrado, como 0,50 m/s

(Murosaki) e 0,75 m/s (Tagawa, 2015), enquanto outros (Still, 2000) encontraram em seus estudos resultados entre 1 m/s e 1,1 m/s para a mesma densidade populacional, considerando evacuação em situações normais. Já Helbling (2002) observou que, em situações de emergência, na verdade a velocidade inicial e máxima dos ocupantes de uma multidão é aumentada. Ele identificou que as velocidades médias nas multidões em situação normal de baixa densidade são de aproximadamente 1,34 m/s, mas em situações de emergência este valor pode ultrapassar 1,5 m/s.

Levando em consideração a situação específica desta pesquisa, por se tratar de local do tipo boates e clubes noturnos, e como já foi visto nas revisões bibliográficas, o comportamento humano tem influência muito importante na velocidade de deslocamento em situações de emergência porém, nenhuma das normas, leis, códigos ou guias de segurança contra incêndios do Brasil levam em consideração tal fator. Cada indivíduo possui uma reação e um comportamento distintos, influenciando diretamente no comportamento e deslocamento das massas e multidões. Durante uma emergência, o indivíduo passa a ter uma resposta comportamental que envolve esforços exagerados, desenvolvendo padrões de comportamento fora do normal, que podem dificultar o abandono dos usuários (VALENTIN, 2008). Além disso, em boates e clubes noturnos há os efeitos da ingestão do álcool que, segundo Carlini et. al. (2001), quando consumido em excesso causa falta de coordenação motora, descontrole e sonolência. Desta forma, para se obter os resultados dos impactos gerados pela diferença de comportamento dos indivíduos no tempo de evacuação, foi adotada para esta pesquisa a utilização de três velocidades de deslocamento distintas, todas elas distribuídas por todo o cenário de forma uniforme (Figura 11) entre os ocupantes:

- a) para 1/3 da população a velocidade de deslocamento de 0,5 m/s;
- b) para 1/3 a velocidade de deslocamento de 1,0 m/s e;
- c) para 1/3 a velocidade de deslocamento de 1,5 m/s.

Figura 11 - Distribuição velocidade de deslocamento no Cenário 1 (vermelho 0,5 m/s, amarelo 1,0 m/s, verde 1,5 m/s)



A velocidade mais restritiva visa refletir no deslocamento da multidão o comportamento dos indivíduos com maior dificuldade de locomoção causada pelos efeitos da ingestão de álcool de forma excessiva, ocasionando uma maior dificuldade de percepção do sinistro e do ambiente. A velocidade intermediária, de 1,0 m/s, visa refletir o comportamento dos indivíduos que agem mais próximos da normalidade em uma situação de emergência, com deslocamento até as saídas em velocidade semelhante à de uma evacuação em situação normal. E a velocidade maior, de 1,5 m/s, visa refletir o comportamento dos ocupantes que apresentam maior pânico, tentando evacuar o local o mais rápido possível, se deslocando em velocidade mais elevada. A distribuição destas três velocidades de forma que em todo local da edificação possuam ocupantes com os três comportamentos faz com que o comportamento de um ocupante impacte no deslocamento do outro, e por consequência estas diferenças de velocidade de deslocamento entre os ocupantes impactem na velocidade de deslocamento da multidão, fazendo com que a simulação se aproxime o máximo possível da realidade.

Com a finalidade de confirmar ou não as hipóteses, nesta etapa do trabalho foram realizados testes por simulação computacional, utilizando o software Pathfinder, versão 2019, realizando alterações no posicionamento, na quantidade e no dimensionamento das saídas de emergência nos três estudos de casos elaborados. O objetivo principal foi verificar o impacto destas alterações nas saídas de emergência no tempo de evacuação. Os resultados de todos os testes realizados estão contemplados no próximo capítulo desta pesquisa.

4. RESULTADOS

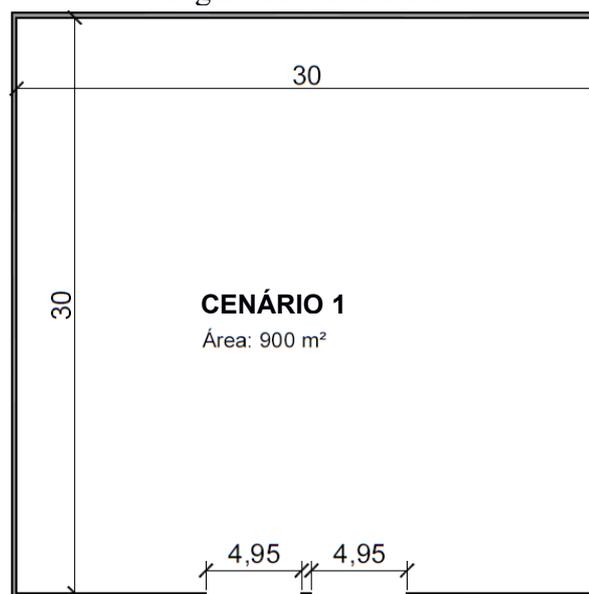
4.1. ESTUDO DE CASO 1

Os primeiros testes de simulação desta pesquisa foram realizados no estudo de caso 1, com a finalidade de determinar os impactos no tempo total de evacuação causados por alterações no posicionamento, na quantidade e no dimensionamento das saídas de emergência. Foram realizados testes para cada uma das hipóteses definidas nesta pesquisa, a fim de comparar seus resultados e comparar os resultados com as determinações da NBS Building Regulations (2006) quanto ao tempo máximo para uma evacuação segura em situação de emergência.

4.1.1. Saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

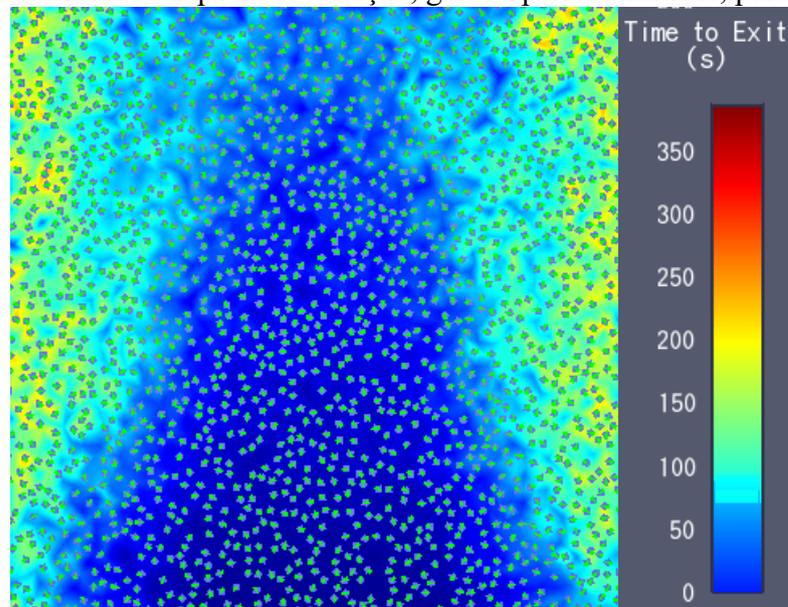
O primeiro teste realizado foi considerando um cenário com duas saídas posicionadas em uma mesma face da edificação (face sul). A dimensão das saídas foi determinada de acordo com a NBR 9077, que determina que para edificação de local de reunião de público com população de 1800 pessoas a saída deve ter 18 unidades de passagem. Como cada unidade de passagem é de 0,55 metros, conforme a NBR 9077, as saídas devem ter 9,90 metros no total, portanto 4,95 metros cada.

Figura 12 - Cenário 1



Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 198,5 segundos para a evacuação total do local, com o maior tempo de evacuação das pessoas que se localizavam nas extremidades laterais do cenário (Figura 13). O tempo ideal de evacuação para locais de reunião de público em situação de emergência é de 2,5 minutos (150 segundos) conforme a NBS Building Regulations (2006). Portanto, utilizando duas saídas com dimensões de acordo com as normas, posicionadas uma ao lado da outra, o tempo de evacuação excede em 32,33% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 82,72% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

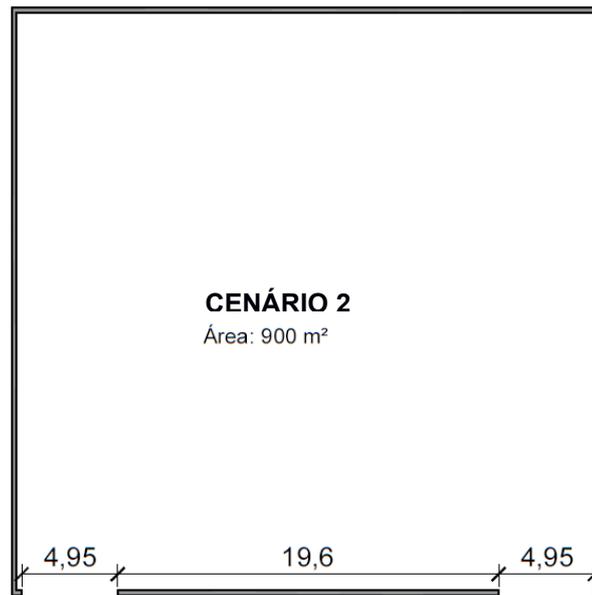
Figura 13 - Gráfico de tempo de evacuação, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 1.



4.1.2. Alterações no posicionamento das saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

Para verificar a influência do posicionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação para o estudo de caso 1 desta pesquisa, foram feitas diversas alterações afastando as saídas uma da outra e alterando as faces onde elas estão implantadas. O primeiro teste neste caso consistiu em aumentar o afastamento das saídas mantendo as duas na mesma face, conforme pode ser visto na Figura 14 (Cenário 2).

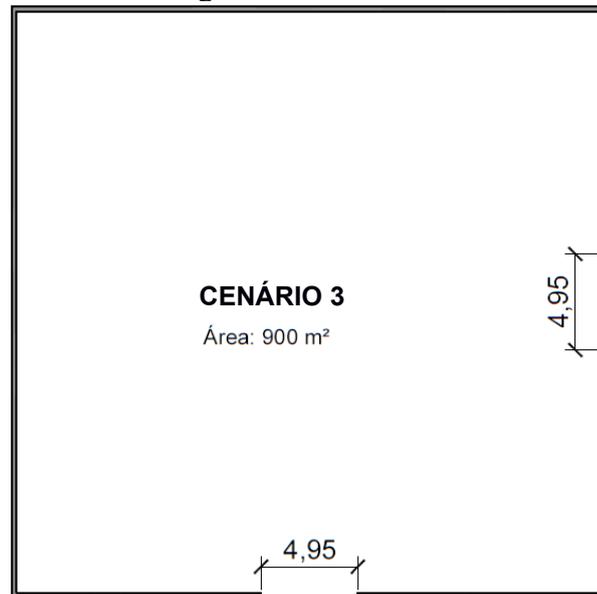
Figura 14 - Cenário 2



Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 195,3 segundos para a evacuação total do local, com uma melhora de apenas 3,2 segundos em relação a simulação com as saídas mais próximas e mantendo o tempo maior tempo de evacuação também das pessoas que se localizavam nas extremidades laterais do cenário. Portanto, utilizando duas saídas com dimensões de acordo com as normas, posicionadas na mesma face da edificação, porém afastadas uma da outra, o tempo de evacuação excede em 30,20% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 83,17% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

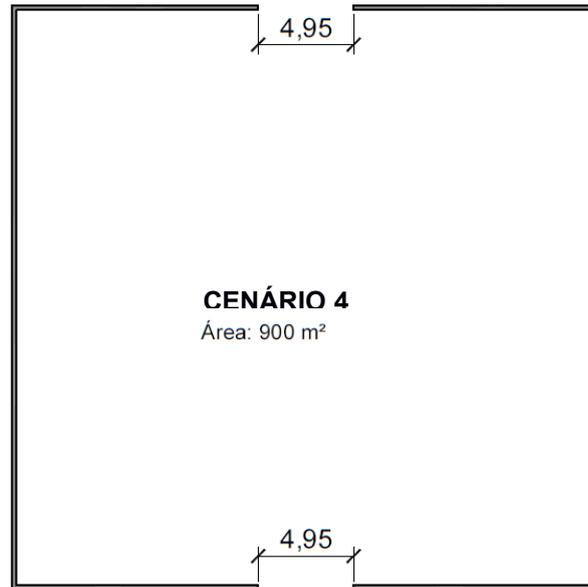
O segundo teste alterando o posicionamento das saídas foi realizado em um terceiro cenário, adotando saídas de emergência em faces distintas, perpendiculares uma a outra, estando uma saída no centro da face sul e outra no centro da face leste da planta baixa, conforme pode ser visto na Figura 15 (Cenário 3). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 198,5 segundos para a evacuação total do local, ficando exatamente idêntico ao tempo de evacuação com as saídas na mesma face e posicionadas uma ao lado da outra. Isto demonstra que aumentar o afastamento das saídas posicionadas em uma mesma face da edificação melhora de forma muito sucinta o tempo total de evacuação, porém no momento que as saídas são posicionadas em faces distintas esta regra não se aplica. Neste caso em específico, o tempo de evacuação foi afetado pela diferença na direção de fluxos dos ocupantes da edificação, sendo um fluxo de saída no sentido norte-sul e outro fluxo de saída no sentido oeste-leste. Como foi visto nas referências bibliográficas, esta diferença na direção dos fluxos causa bloqueios, onde um fluxo acaba bloqueando o outro em diversos momentos da evacuação.

Figura 15 - Cenário 3



O terceiro teste realizado alterando o posicionamento das saídas de emergência foi com as saídas inseridas em faces opostas, com uma saída no centro da face sul e outra no centro da face norte, conforme pode ser visto na Figura 16 (Cenário 4). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 190,8 segundos para a evacuação total do local, com uma melhora de 7,7 segundos em relação a simulação com as saídas mais próximas. Portanto, utilizando duas saídas com dimensões de acordo com as normas, posicionadas em faces opostas da edificação, o tempo de evacuação excedeu em 27,20% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 82,27% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

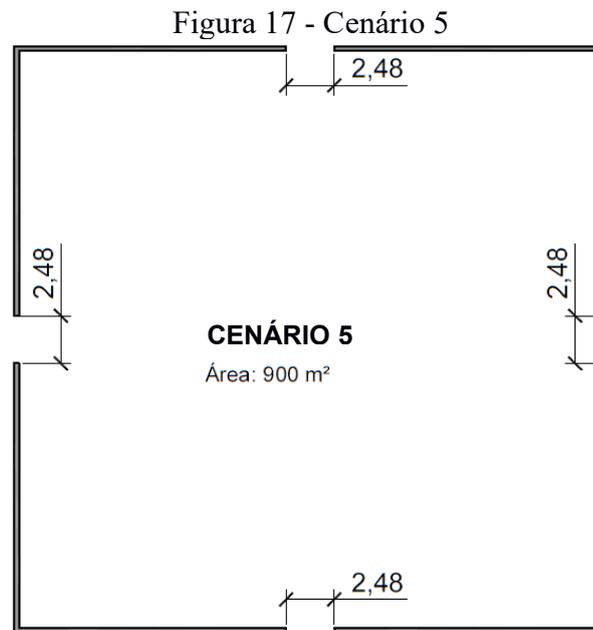
Figura 16 - Cenário 4



Como pode ser verificado nos resultados da simulação, posicionar as saídas em faces opostas reduz o tempo de evacuação, pois mesmo que esta redução não ocorra de forma significativa, os resultados são um pouco melhores. O número de ocupantes que conseguiram evacuar a edificação no tempo de 150 segundos na verdade foi menor, pelo motivo de as saídas ficarem sobrecarregadas em boa parte do tempo de evacuação, deixando o fluxo de passagem mais lento até os 160 segundos, mas acelerando de forma considerável nos 30 segundos finais pela aglomeração de pessoas ter ficado muito menor. Desta forma pode-se concluir que apenas alterar o posicionamento das saídas de emergência mantendo as dimensões tem sim influências no tempo total de evacuação, principalmente quanto a bloqueios de fluxos e aglomerações, porém não possibilita melhoras significativas no tempo total de evacuação.

4.1.3. Alterações no número total de saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

Para verificar a influência do número de saídas de emergência no tempo total de evacuação, foi alterado o número total de saídas no estudo de caso 1 para quatro. Neste caso o dimensionamento total das saídas não foi alterado, permanecendo de acordo com a determinação das normas, e as saídas foram posicionadas uma em cada face da edificação, conforme pode ser visto na Figura 17 (Cenário 5).



Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 193,3 segundos para a evacuação total do local, com uma melhora de 5,2 segundos em relação a simulação com duas saídas posicionadas mais próximas. Portanto, utilizando quatro saídas com dimensões de acordo com as normas, posicionadas em faces distintas da edificação, o tempo de evacuação excedeu em 28,87% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 85,17% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Verifica-se assim que, como a alteração no posicionamento das saídas, o aumento do número de saídas sem alterar a dimensão total de saídas de uma edificação não impacta em reduções significativas no tempo total de evacuação para o estudo de caso 1. Conforme os resultados dos testes desta pesquisa, para edificações de apenas um ambiente, pensar apenas no posicionamento e no número de saídas ao elaborar o projeto arquitetônico não deverá influenciar de forma direta no tempo total de evacuação em uma situação de emergência.

4.1.4. Alterações no dimensionamento das saídas de emergência

Para verificar a influência do dimensionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação, foram feitas alterações aumentando a largura das saídas em 25% e 50% no estudo de caso 1. O primeiro teste neste caso consistiu em aumentar o dimensionamento das saídas em 25% no cenário 1 desta pesquisa, ficando cada uma das saídas com 6,1875 metros.

Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 167,0 segundos para a evacuação total do local, proporcionando uma redução de 31,5 segundos em relação a saídas dimensionadas conforme as determinações das normas. Portanto, com aumento de 25% no dimensionamento das saídas o tempo de evacuação excedeu em 11,33% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 96,50% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Isto demonstra que o dimensionamento das saídas de emergência tem relação fundamental com o tempo total de evacuação para edificações com apenas um ambiente. No momento que se aumentou a largura das saídas em 25% foi possível evacuar 96,50% dos ocupantes dentro do tempo máximo de evacuação determinado pela NBS Building Regulations (2006).

O segundo teste realizado considerou o aumento de 50% no dimensionamento das saídas no cenário 1 desta pesquisa, ficando cada uma das saídas com 7,425 metros. Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 146,8 segundos para a evacuação total do local, proporcionando uma redução de 51,7 segundos em relação a saídas dimensionadas conforme as determinações das normas. Portanto, com aumento de 50% no dimensionamento das saídas o tempo de evacuação ficou 2,14% abaixo do indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 100,00% da população restando 3,2 segundos para chegar ao tempo máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Considerando que o menor tempo de evacuação considerando duas saídas de emergência no estudo de caso 1 desta pesquisa se deu com as saídas posicionadas em faces opostas (Cenário 4), também foi realizada a simulação aumentando o dimensionamento das saídas em 25% e 50% no Cenário 4. Nestes casos obteve-se os resultados de, 157,0 segundos para a evacuação total do local considerando o aumento de 25% na largura das saídas e 139,3 segundos considerando o aumento de 50% na largura das saídas, proporcionando reduções de 33,8 segundos e 59,2 segundos respectivamente em relação a saídas dimensionadas conforme as determinações das normas. Portanto, nesta situação, com aumento de 50% no dimensionamento das saídas o tempo de evacuação ficou 7,13% abaixo do indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 100,00% da população restando 10,7 segundos para chegar ao tempo máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Com estes testes pode-se afirmar que a relação do tamanho da saída com o tempo total de evacuação é inversamente proporcional ao evacuarmos ambientes únicos, pois quanto maior

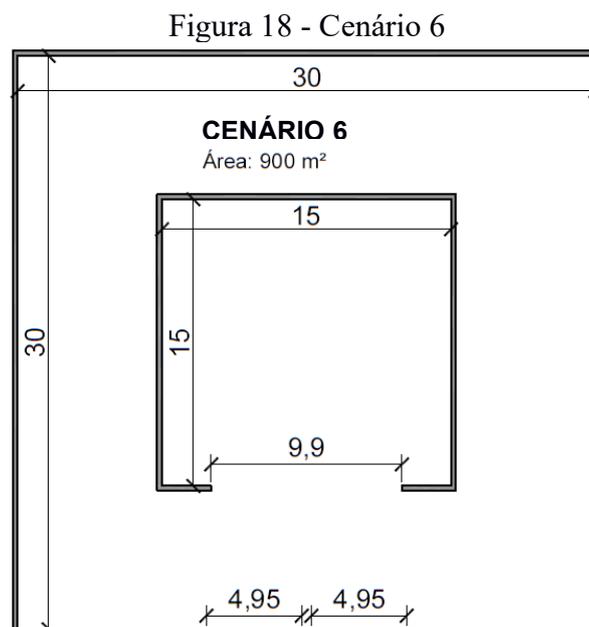
a saída, menor o tempo total de evacuação. Além disso, também foi possível identificar que o tamanho da saída é proporcional ao número de ocupantes que evacuam uma edificação em um determinado tempo, pois quanto maior a saída, maior o número de pessoas que conseguem evacuar um local em um tempo determinado.

4.2. ESTUDO DE CASO 2

Com a finalidade de determinar os impactos no tempo total de evacuação causados por alterações no posicionamento e dimensionamento das saídas de emergência, optou-se por realizar um segundo estudo de caso, onde foram realizados testes de evacuação em cenários com um segundo ambiente no centro da planta. Foram realizados testes para cada uma das hipóteses definidas nesta pesquisa, a fim de comparar seus resultados e verificar se atendem a determinação da NBS Building Regulations (2006) quanto ao tempo máximo para uma evacuação segura em situação de emergência.

4.2.1. Saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

O primeiro teste realizado neste caso foi considerando duas saídas posicionadas em uma mesma face da edificação (face sul), conforme pode ser visto na Figura 18 (Cenário 6). A dimensão das saídas foi determinada de acordo com a NBR 9077.

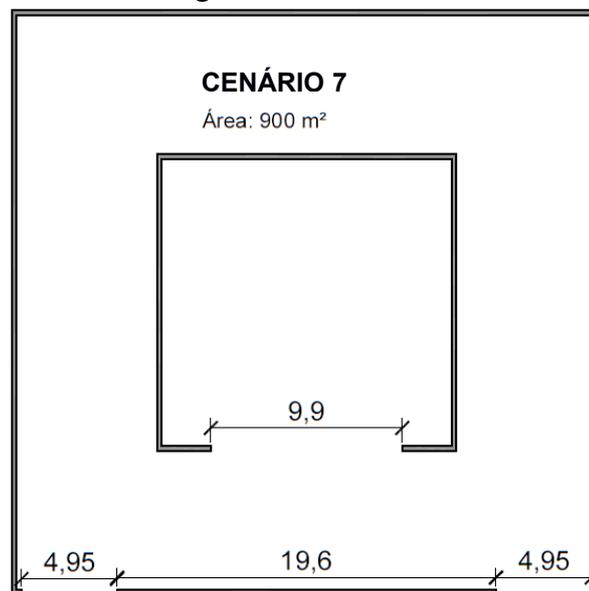


Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 205,3 segundos para a evacuação total do local, com o maior tempo de evacuação das pessoas que se localizavam na extremidade norte do cenário. Portanto, para esta situação, o tempo de evacuação excede em 36,87% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 81,11% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

4.2.2. Alterações no posicionamento das saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

Para verificar a influência do posicionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação para o estudo de caso 2, em edificações com mais de um ambiente, foram feitas diversas alterações no posicionamento das saídas, alterando as faces onde elas estão implantadas e alterando o afastamento entre elas. O primeiro teste neste caso consistiu em aumentar o afastamento das saídas mantendo as duas na mesma face (face sul), conforme pode ser visto na Figura 19 (Cenário 7).

Figura 19 - Cenário 7



Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 194,5 segundos para a evacuação total do local, com uma melhora de 10,8 segundos em relação a simulação com as saídas mais próximas e mantendo o tempo maior tempo de evacuação das pessoas que se localizavam na extremidade norte do cenário. Aqui verifica-se que, no momento

em que há mais de um ambiente em uma edificação, o posicionamento das saídas de emergência tem maior interferência no tempo total de evacuação do que para os casos de edificações com apenas um ambiente. Portanto, utilizando duas saídas com dimensões de acordo com as normas, posicionadas na mesma face da edificação, porém afastadas uma da outra, o tempo de evacuação excede em 29,67% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 82,89% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

O segundo teste alterando o posicionamento das saídas foi realizado considerando um cenário com as saídas de emergência posicionadas na face leste, estando as duas saídas próximas uma da outra, conforme pode ser visto na Figura 20 (Cenário 8). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 264,3 segundos para a evacuação total do local, aumentando significativamente o tempo em relação ao teste anterior. O tempo de evacuação excede em 76,20% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 74,28% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Neste caso em específico, o tempo de evacuação foi afetado principalmente por a maioria dos ocupantes optarem pela saída mais próxima, ocasionando sobrecarga em uma das saídas enquanto a outra está praticamente vazia (Figura 21).

Figura 20 - Cenário 8

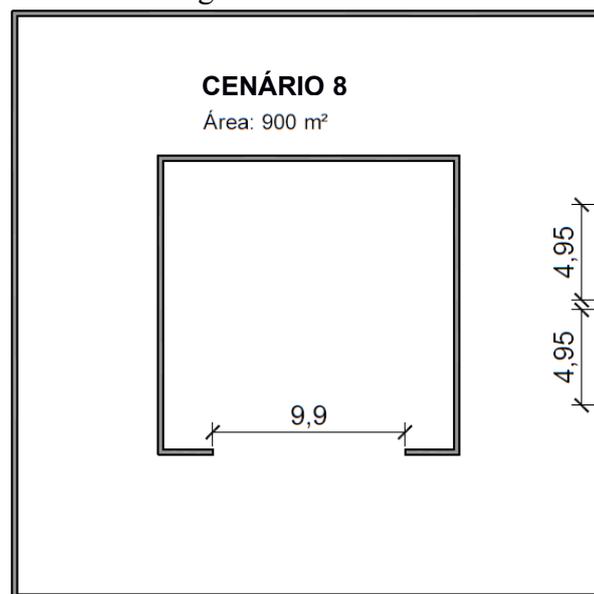
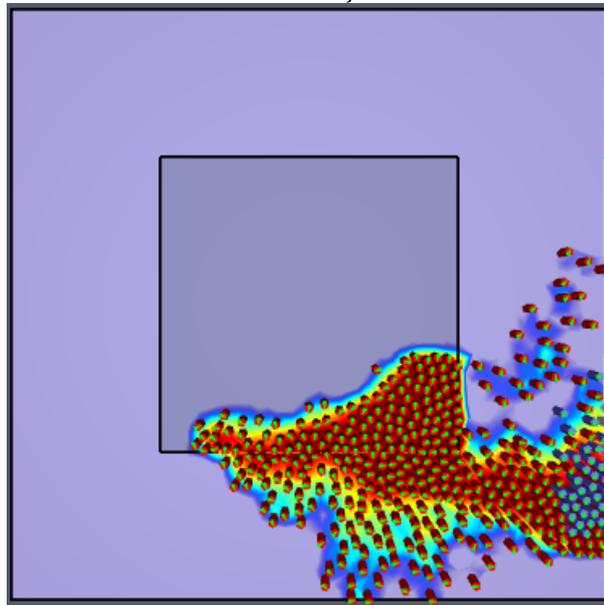


Figura 21 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 8, demonstrando que maioria dos ocupantes opta por evacuar pela saída de mais rápida visualização.



O terceiro teste alterando o posicionamento das saídas foi realizado aumentando o afastamento das saídas na face leste, conforme Figura 22 (Cenário 9). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 227,8 segundos para a evacuação total do local, reduzindo significativamente o tempo em relação ao teste anterior. Como pode ser visto nos resultados, uma alteração pequena impactou em uma redução de 36,5 segundos. O tempo de evacuação foi reduzido principalmente pela visualização mais fácil de uma das saídas pelos ocupantes posicionados no interior do segundo ambiente, proporcionando um deslocamento mais rápido. Porém, ainda se tem um tempo elevado pelo fato de a maioria dos ocupantes optarem pela saída mais próxima, ocasionando sobrecarga em uma das saídas enquanto a outra está praticamente vazia (Figura 23). O tempo de evacuação excedeu em 51,87% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 80,05% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Figura 22 - Cenário 9.

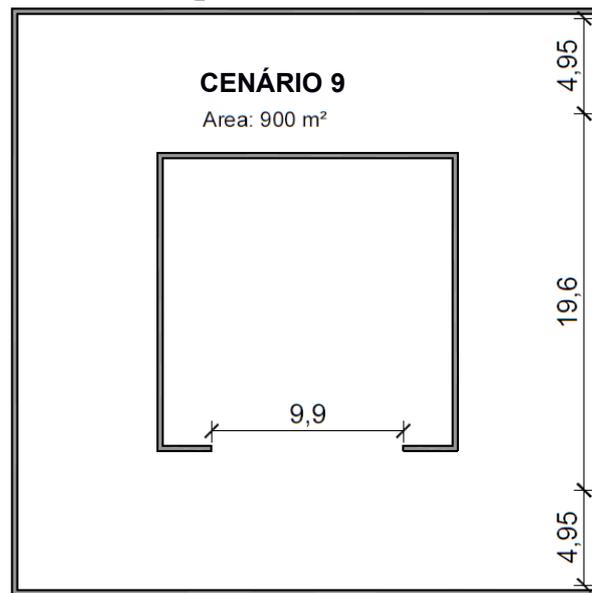
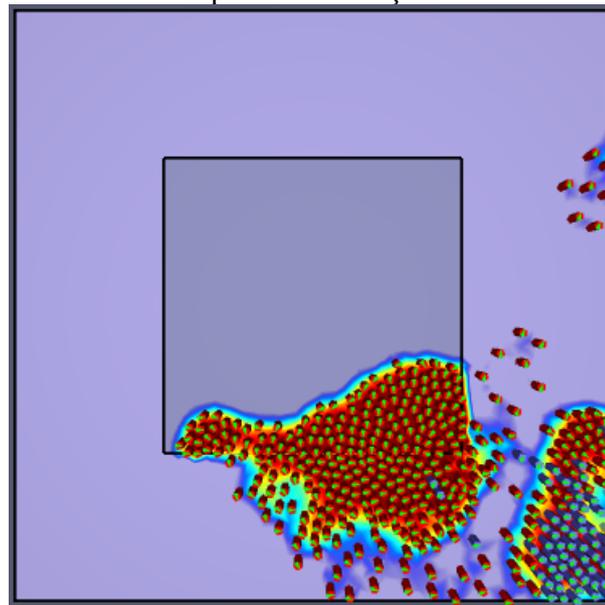
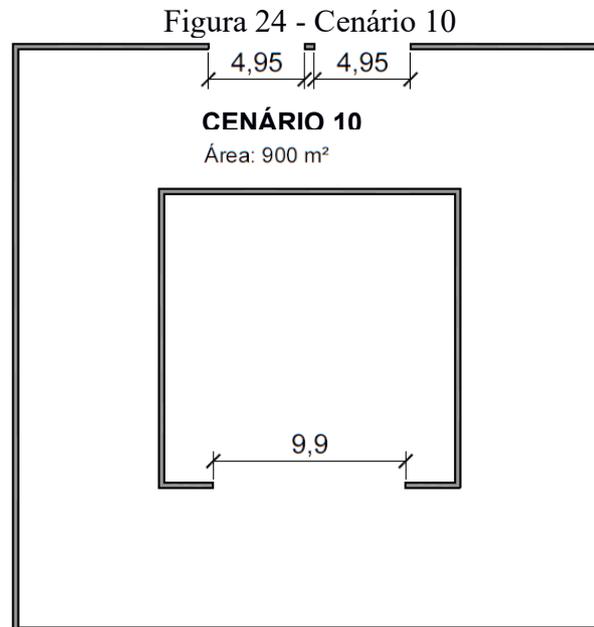


Figura 23 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 9, demonstrando que maioria dos ocupantes do cenário optam por evacuar pela saída de mais rápida visualização.

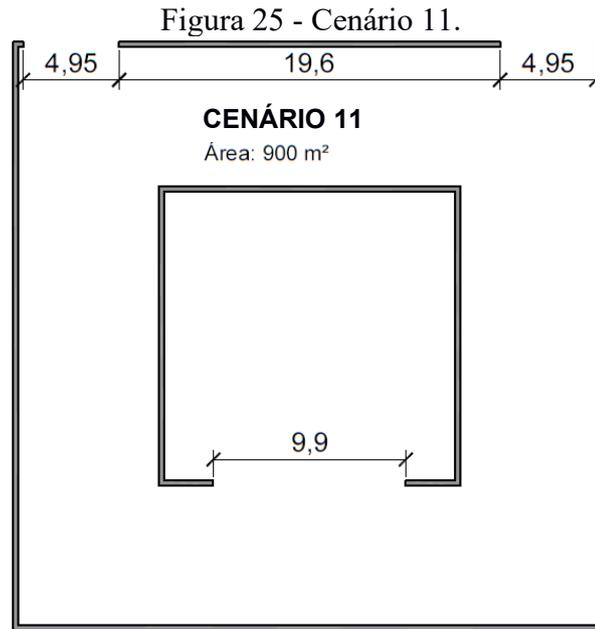


O quarto teste realizado alterando o posicionamento das saídas de emergência foi com as saídas posicionadas na face norte, conforme Figura 24 (Cenário 10). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 216,3 segundos para a evacuação total do local, com uma melhora de 11,5 segundos em relação a simulação com as saídas na face leste mas com uma piora de 20,9 segundos em relação ao posicionamento das saídas na face sul. Isto se deu pela maior distância de deslocamento dos ocupantes posicionados no interior do segundo ambiente, sendo estes os com maior tempo de evacuação do cenário. Neste caso, o tempo de

evacuação excedeu em 44,20% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 77,17% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).



O quinto teste realizado com alteração no posicionamento das saídas de emergência consistiu em verificar o tempo de evacuação das saídas posicionadas na face norte, porém com um afastamento maior entre elas, conforme Figura 25 (Cenário 11). Este teste resultou em um tempo total de evacuação de 199,5 segundos, o que excede em 33,0% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 83,61% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Portanto, havendo mais uma vez uma melhora significativa no tempo de evacuação, reduzindo em 16,8 segundos o tempo total de evacuação, pelo aumento do afastamento entre as saídas. Esta redução se deu mais uma vez pela mais fácil visualização das saídas pelos ocupantes que estão posicionados no interior do segundo ambiente, pois como verificou-se nas referências bibliográficas desta pesquisa, existe o tempo de pré-movimento, que é o tempo para entender o que está ocorrendo e identificar a saída mais próxima, no momento que a saída não está visível este tempo é aumentado. Porém, o resultado obtido neste teste apresentou tempo total de evacuação superior ao obtido na simulação considerando as duas saídas na face sul, mais uma vez por a distância de deslocamento dos ocupantes que estão no interior do segundo ambiente ser maior.



O sexto teste alterando o posicionamento das saídas, consistiu em verificar o tempo total de evacuação em casos onde as saídas estão posicionadas em faces distintas. Neste teste as saídas foram posicionadas em faces perpendiculares, sendo uma na face sul e outra na face leste, conforme Figura 26 (Cenário 12). O resultado para este teste foi de 256,5 segundos com maior tempo de deslocamento dos ocupantes que estavam posicionando no canto superior esquerdo do cenário. Neste caso, o tempo de evacuação excede em 71,0% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 77,05% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Este tempo se deu principalmente pela sobrecarga da saída posicionada na face sul, pois todos os ocupantes que estavam no interior do segundo ambiente optaram pela evacuação por esta saída, por ser a primeira a ser visualizada por eles ao deixar o segundo ambiente. Isto fez com que no tempo de 155 segundos de evacuação a saída leste estava vazia, enquanto na saída sul haviam 382 ocupantes para evacuar o local (Figura 27).

Figura 26 - Cenário 12.

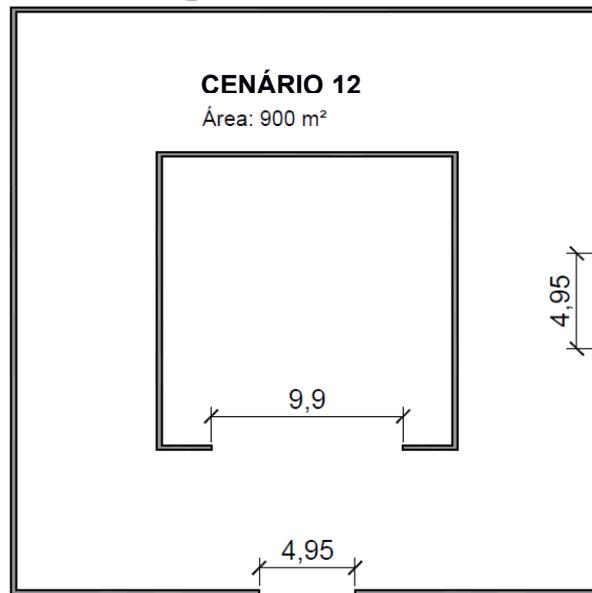
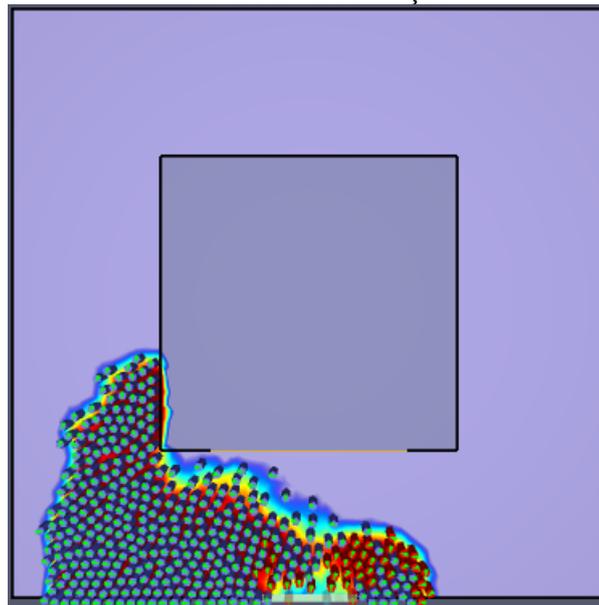


Figura 27 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 12, demonstrando uma grande quantidade de ocupantes tentando evacuar o local pela saída de mais fácil visualização.



No sétimo teste alterando o posicionamento das saídas, elas foram posicionadas ainda em face distintas, perpendiculares, porém agora estando uma na face leste e uma na face norte, conforme Figura 28 (Cenário 13). O resultado para este teste foi de 232,0 segundos para evacuação total do cenário, o que excede em 54,67% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 76,83% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Verificou-se que o tempo reduziu 24,5 segundos em relação ao teste anterior. Esta redução se dá porque, neste caso, não há apenas

uma das saídas visível para os ocupantes que estão no interior do segundo ambiente, mas sim nenhuma delas está visível. Isto faz com que os ocupantes posicionados no interior do segundo ambiente tenham que procurar pelas saídas ao sair do segundo ambiente, havendo fluxo de alguns na direção leste e outros na oeste, diminuindo a sobrecarga em apenas uma saída. Neste caso, no momento em que na saída norte não há mais ninguém para evacuar o cenário, na leste há 26 pessoas para evacuar (Figura 29), o que demonstra a redução da sobrecarga em apenas uma saída quando comparado ao teste anterior.

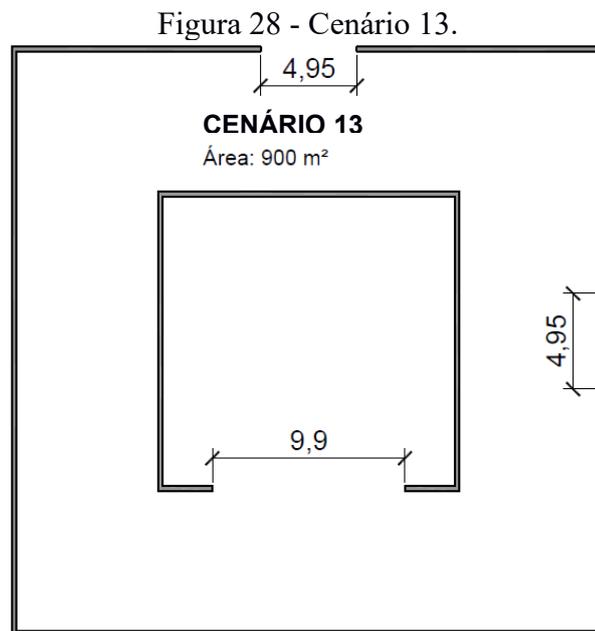
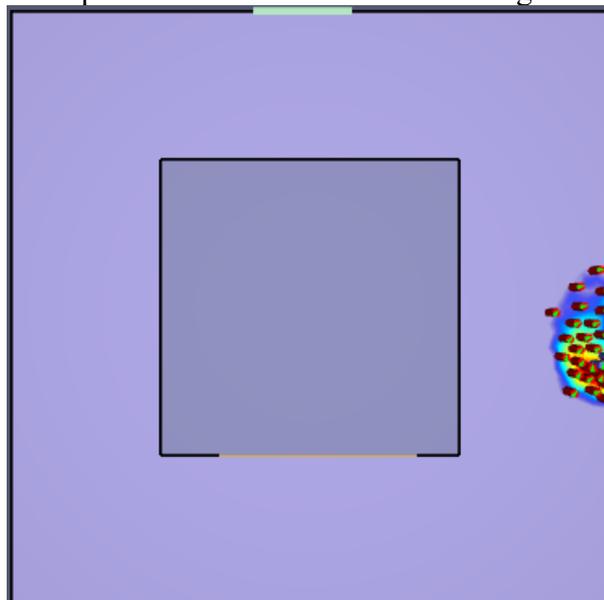


Figura 29 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 13, demonstrando que neste caso não houve sobrecarga em uma saída.



No oitavo teste alterando posicionamento das saídas, elas foram posicionadas em faces opostas, estando uma na face sul e outra na face norte, conforme Figura 30 (Cenário 14). O resultado para este teste foi de 234,8 segundos para a evacuação total do cenário, o que excede em 56,53% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 77,72% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). O tempo se deu principalmente pela sobrecarga na saída sul, pois todos os ocupantes que estavam dentro do segundo ambiente optaram por evacuar por esta saída, por ser a saída visível a eles. Enquanto na saída norte não havia mais nenhum ocupante para evacuar o local, na sul haviam 425 ocupantes tentando evacuar o cenário, ocorrendo isto ao tempo de 144 segundos de evacuação (Figura 31).

Figura 30 - Cenário 14.

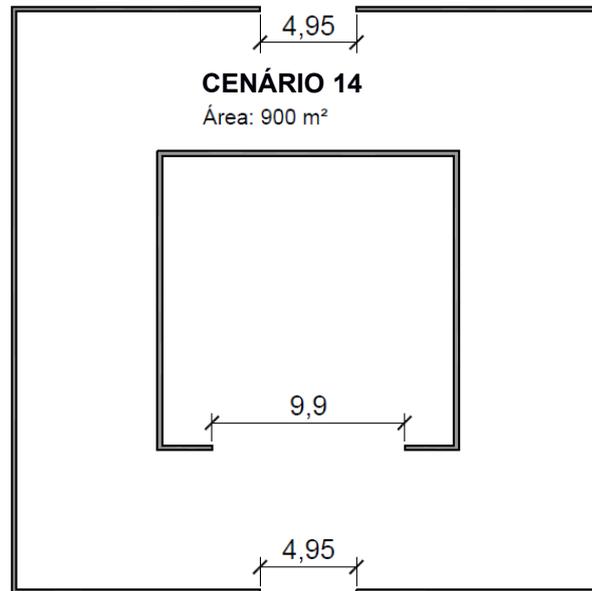
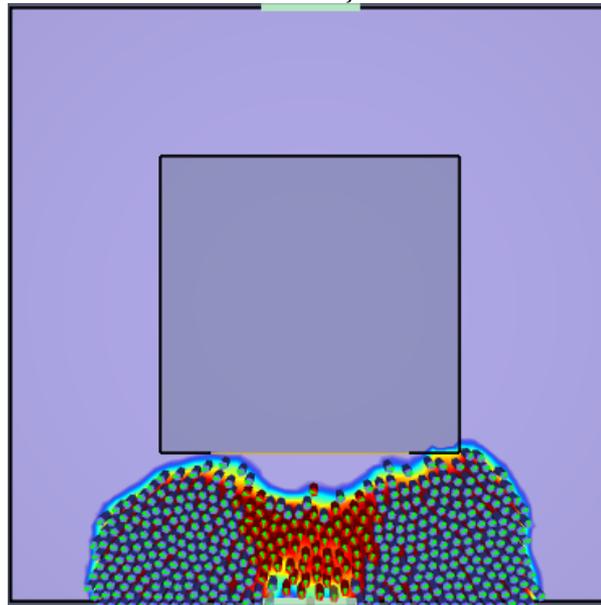
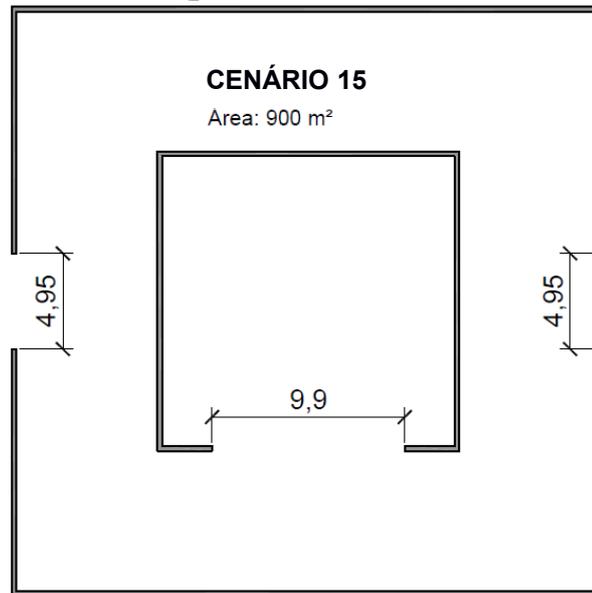


Figura 31 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 14, demonstrando grande parte dos ocupantes optando por evacuar pela saída de mais rápida visualização.



No nono teste considerando a alteração no posicionamento das saídas, as duas saídas foram posicionadas em faces opostas, uma na face leste e outra na oeste, conforme Figura 32 (Cenário 15). Neste teste o resultando foi de 200,0 segundos para evacuação total do ambiente, o que excede em 33,33% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 83,17% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). A redução do tempo em relação ao teste anterior se deu pela ausência da sobrecarga em apenas uma saída, pois os ocupantes do interior do segundo ambiente não tinham apenas uma das saídas visível e, desta forma, optaram alguns pela saída leste e outros pela oeste. O tempo total de evacuação ainda foi maior do que o tempo considerando as saídas na face sul, com distância maior entre elas, pela distância de deslocamento até a saída ser menor quando elas estão posicionadas mais próximas ao acesso ao segundo ambiente.

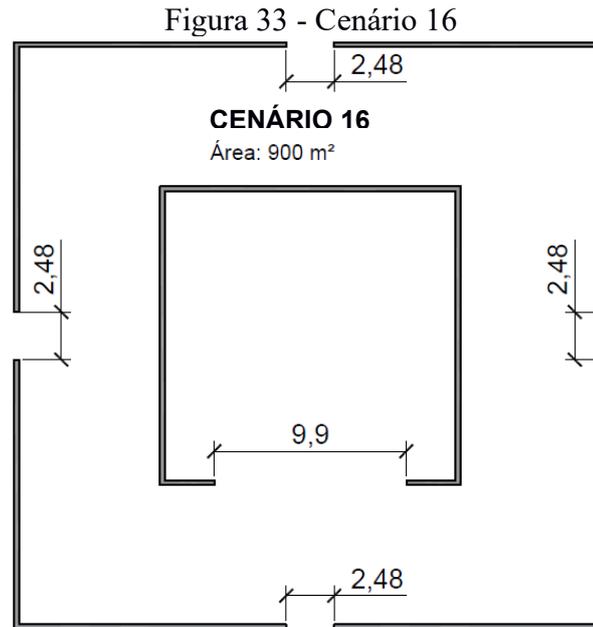
Figura 32 - Cenário 15.



Como se pode ver nos resultados das nove simulações alterando o posicionamento das saídas, no momento em que há mais de um ambiente em uma edificação, o posicionamento das saídas pode ser determinante no tempo total de evacuação. Pode-se verificar que no caso de saídas mais próximas aos acessos a outros ambientes da edificação o tempo de evacuação é reduzido em relação a saídas posicionadas em maior distância aos acessos aos outros ambientes. Porém, deve-se ter atenção para não haver apenas uma saída de mais fácil visualização para parte dos ocupantes, pois isto faz com estes ocupantes optem por utilizar esta saída, ocasionando uma sobrecarga nela e, conseqüentemente, um tempo total de evacuação maior.

4.2.3. Alterações no número total de saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

Para verificar a influência do número de saídas de emergência no tempo total de evacuação no estudo de caso 2, foi alterado o número total de saídas para quatro (Cenário 16). Neste caso o dimensionamento total das saídas não foi alterado, permanecendo de acordo com a determinação das normas, e as saídas foram posicionadas uma em cada face da edificação, conforme pode ser visto na Figura 33.



Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 308,5 segundos para a evacuação total do local, com uma piora de mais de 100 segundos em relação a algumas simulações com duas saídas de emergência. Portanto, utilizando quatro saídas com dimensões de acordo com as normas, posicionadas em faces distintas da edificação, o tempo de evacuação excedeu em 105,67% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 77,56% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Pode-se verificar assim que, da mesma forma que nas alterações de posicionamento das saídas, temos uma sobrecarga muito grande em apenas uma saída de emergência neste caso. Por uma das saídas estar com mais fácil visualização para os ocupantes posicionados no interior do segundo ambiente, todos estes ocupantes optaram por evacuar o cenário por esta saída, ocasionando em uma sobrecarga muito elevada. Esta sobrecarga foi ainda mais elevada porque cada saída tem a largura de 3,30 metros, enquanto nos testes onde haviam duas saídas cada uma possuía largura de 4,95 metros. Portanto, mais uma vez, os testes demonstram que o posicionamento e a visualização das saídas são determinantes no tempo total de evacuação.

4.2.4. Alterações no dimensionamento das saídas de emergência

Para verificar a influência do dimensionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação do estudo de caso 2, foram feitas alterações aumentando a largura das saídas

em 25% e 50%. O primeiro teste neste caso consistiu em aumentar o dimensionamento das saídas em 25% em relação as dimensões previstas em normas no cenário 6 (Figura 18).

Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 179,3 segundos para a evacuação total do local, proporcionando uma redução de 26 segundos em relação a saídas dimensionadas conforme as determinações das normas. Portanto, com aumento de 25% no dimensionamento das saídas o tempo de evacuação excedeu em 19,53% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 93,50% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

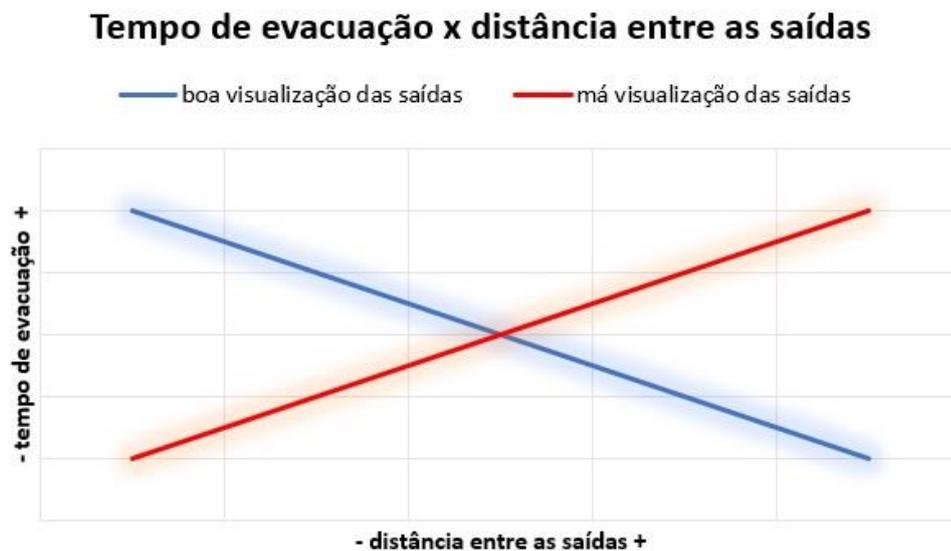
Isto demonstra que o dimensionamento das saídas de emergência também tem relação fundamental com o tempo total de evacuação edificações com dois ambientes. No momento que aumentou-se a largura das saídas em 25% foi possível evacuar 93,50% dos ocupantes dentro do tempo máximo de evacuação determinado pela NBS Building Regulations (2006).

O segundo teste realizado considerou o aumento de 50% no dimensionamento das saídas no cenário 6 (Figura 18) em relação as dimensões determinadas pelas normas, ficando cada uma das saídas com 7,425 metros. Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 164,5 segundos para a evacuação total do local, proporcionando uma redução de 40,8 segundos em relação a saídas dimensionadas conforme as determinações das normas. Portanto, com aumento de 50% no dimensionamento das saídas o tempo de evacuação ficou 9,67% acima do indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 97,22% da população no tempo máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Considerando os resultados dos testes anteriores, o menor tempo de evacuação para o estudo de caso 2 se deu no cenário 7 (Figura 19) com as duas saídas de emergência posicionadas na face sul com distância maior entre elas. Desta forma também foi realizada a simulação aumentando o dimensionamento das saídas em 25% e 50% para este cenário. Nestes casos obteve-se os resultados de 172,3 segundos para a evacuação total do local considerando o aumento de 25% na largura das saídas e 150,0 segundos considerando o aumento de 50% na largura das saídas, proporcionando reduções de 22,2 segundos e 44,5 segundos respectivamente em relação a saídas dimensionadas conforme as determinações das normas. Portanto, nesta situação, com aumento de 50% no dimensionamento das saídas o tempo de evacuação ficou exatamente no máximo indicado pela NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 100,00% da população no tempo máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Com estes testes é possível reafirmar que a relação do tamanho da saída com o tempo total de evacuação é inversamente proporcional, pois quanto maior a saída, menor o tempo total de evacuação. É possível também identificar mais uma vez que o tamanho da saída é proporcional ao número de ocupantes que evacuam uma edificação em um determinado tempo, pois quanto maior a saída, maior o número de pessoas que conseguem evacuar um local em um tempo determinado. Mas, além disso, neste estudo de caso pode-se ver que o afastamento das saídas e o posicionamento das mesmas se torna determinante para a redução do tempo total de evacuação, havendo uma relação entre a distância entre as saídas e a dificuldade de visualização das saídas pelos ocupantes da edificação. Verifica-se aqui que quanto maior o distanciamento das saídas, estando elas posicionadas em locais de melhor visualização para todos os ocupantes da edificação, incluindo os que ficam no interior do segundo ambiente, menor é o tempo total de evacuação (Figura 34).

Figura 34 - gráfico da relação do tempo de evacuação com a distância entre as saídas considerando boa e má visualização das saídas.

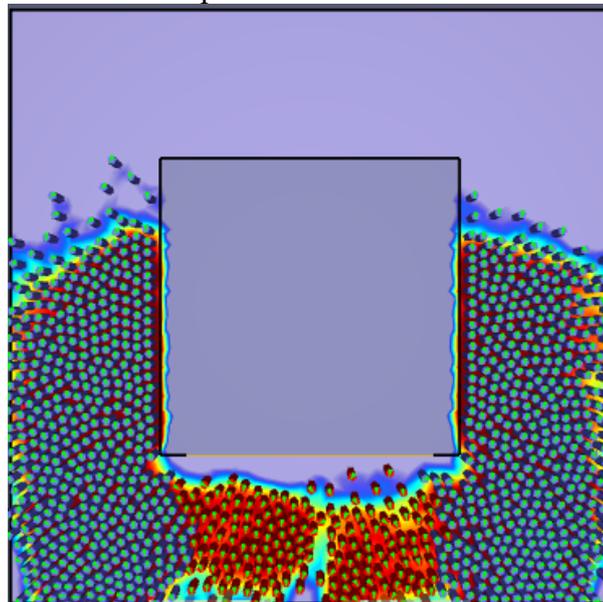


4.2.5. Aumentar o dimensionamento (largura) de todas as passagens que compõem a rota de fuga

Neste caso, os testes realizados consistem em aumentar em 25% e 50% a largura de toda a rota de fuga no estudo de caso 2. Isto quer dizer que não será aumentada a dimensão apenas da saída de emergência, mas sim do acesso ao segundo ambiente também.

No primeiro teste realizado neste caso, considerou-se o aumento de 25% na dimensão da saída de emergência e do acesso ao segundo ambiente do Cenário 6 (Figura 18). O resultado deste teste foi de 182,0 segundos apresentando tempo maior de evacuação do que nos casos em que apenas as saídas de emergência tiveram suas dimensões aumentadas. Neste caso, o tempo de evacuação excede em 21,33% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 91,17% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Isto se dá porque os ocupantes acabam saindo mais rapidamente do segundo ambiente, porém isto provoca uma maior sobrecarga nas saídas de emergência, como podemos ver na Figura 35 que enquanto não há mais nenhum ocupante no segundo ambiente ainda há um número de ocupantes tentar passar pelas saídas de emergência muito elevado. Este resultado demonstra que uma rota de fuga onde as dimensões são crescentes ao decorrer do percurso ocasiona um tempo menor de evacuação. Desta forma, para uma melhor evacuação o ideal é que as saídas de emergência tenham a dimensão total superior as dimensões de outras passagens existentes na rota de fuga.

Figura 35 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 6, com aumento de 25% na passagem entre o ambiente interno e as saídas e 25% na largura das saídas, demonstrando que os ocupantes que estavam no interior do ambiente interno conseguem evacuar de forma mais rápida por bloquearem o fluxo dos ocupantes que se deslocam a partir das laterais do cenário.



No segundo teste realizado, com aumento de 50% na dimensão das saídas de emergência e do acesso ao ambiente interno do cenário 6 (Figura 18), o resultado foi de 169,3 segundos para evacuação total do cenário, o que excede em 12,87% o indicado na NBS Building

Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 95,72% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Houve melhora no resultado em relação ao aumento de 25%, porém o tempo ainda ficou acima da situação onde as saídas de emergência são dimensionadas 50% acima das determinações das normas mas o acesso mantém sua dimensão.

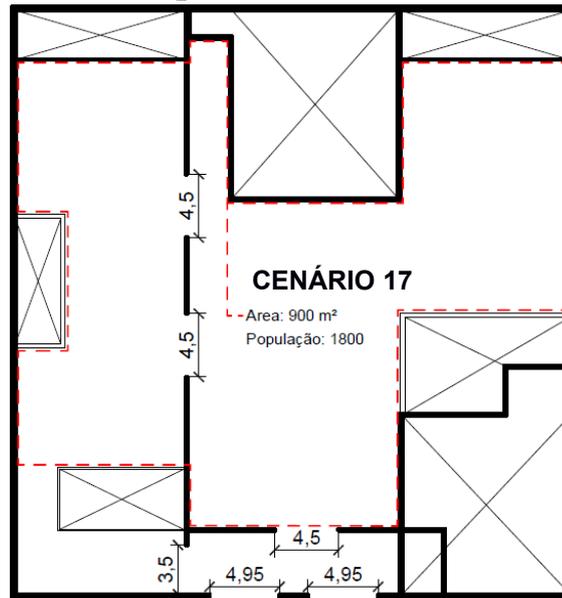
4.3. ESTUDO DE CASO 3

A fim de avaliar os resultados em um cenário mais realista, optou-se por testar as hipóteses em um terceiro estudo de caso baseado na planta baixa da Boate Kiss, localizada em Santa Maria-RS, onde ocorreu a mais recente tragédia do Brasil neste tipo de local. As dimensões da planta baixa foram adaptadas para que sua lotação também fosse de 1800 ocupantes, e as saídas foram ajustadas para que atendessem as exigências previstas nas normas brasileiras. Estas alterações foram realizadas para que seja possível a comparação entre resultados obtidos com os testes realizados neste estudo de caso e os resultados obtidos nos testes realizados nos estudos de caso 1 e 2. Além disso, as simulações realizadas neste caso também possuem o objetivo de se verificar se os resultados encontrados atendem a determinação da NBS Building Regulations (2006) quanto ao tempo máximo para uma evacuação segura em situação de emergência.

4.3.1. Saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

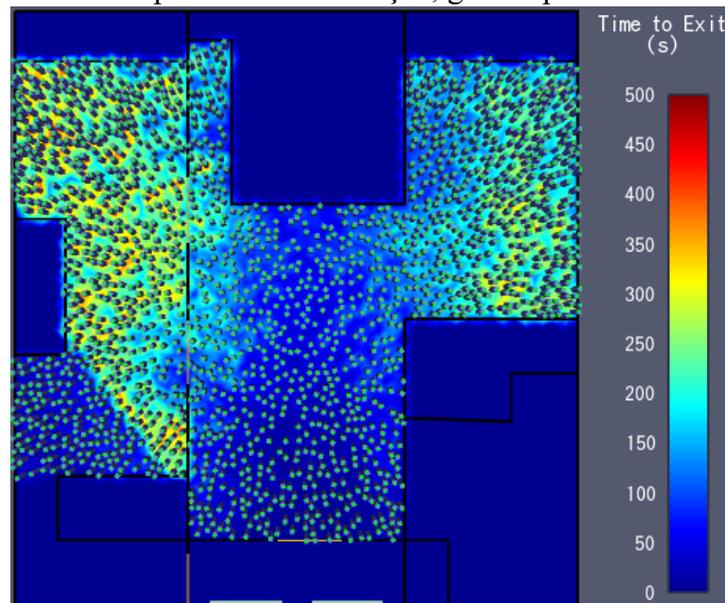
O primeiro teste realizado no estudo de caso 3 foi considerando duas saídas de emergência posicionadas em uma mesma face da edificação (face sul), estando uma ao lado da outra, conforme pode ser visto na Figura 36 (Cenário 17). A dimensão das saídas foi determinada de acordo com a NBR 9077, estando cada saída com 4,95 metros de largura.

Figura 36 - Cenário 17

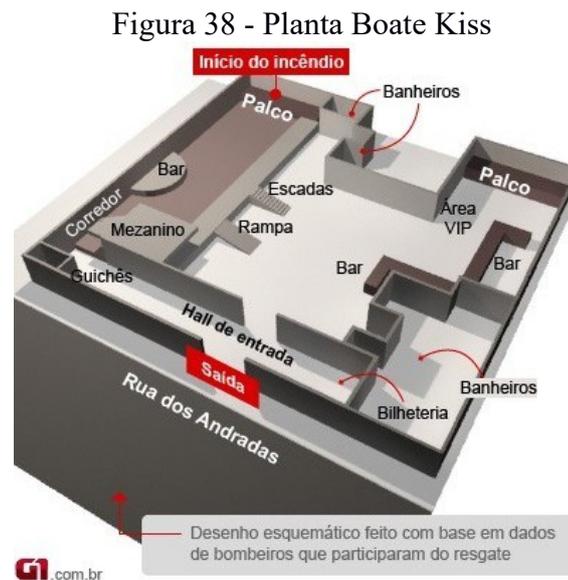


Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 452,8 segundos para a evacuação total do local, com o maior tempo de evacuação para os ocupantes que se localizavam na extremidade superior esquerda do cenário (Figura 33). Portanto, para esta situação, o tempo de evacuação excede em 201,87% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 38,78% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Figura 37 - Gráfico do tempo total de evacuação, gerado pelo Pathfinder, do cenário 17.



O resultado deste teste demonstra de certa forma o que ocorreu na tragédia da Boate Kiss. Pois mesmo que a planta tenha sido alterada em algumas dimensões e sua saída de emergência tenha sido dimensionada de acordo com as normas brasileiras, o layout com a distribuição dos ambientes, os corredores e as passagens estreitas entre os ambientes foram preservados, conforme se pode ver na Figura 38. O resultado deste teste demonstra que um trabalho de simulação como este poderia ter evitado a morte de muitas pessoas.

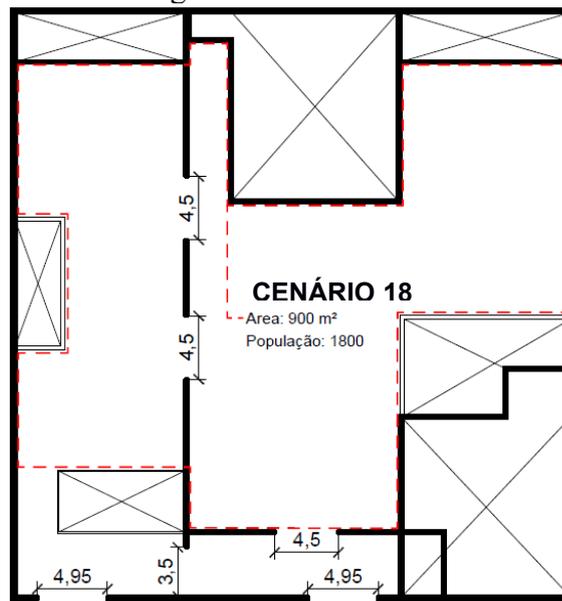


Fonte: G1.

4.3.2. Alterações no posicionamento das saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

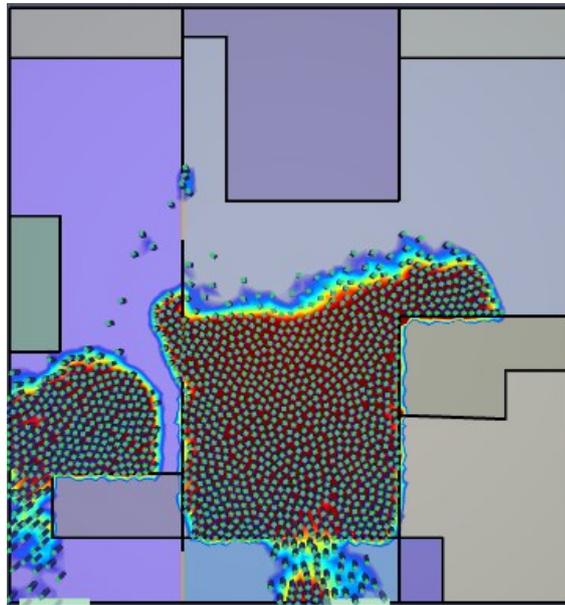
Para verificar a influência do posicionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação do estudo de caso 3, foram feitas diversas alterações no posicionamento das saídas, alterando o afastamento entre as saídas e as faces onde elas estão implantadas. O primeiro teste neste caso consistiu em aumentar o afastamento das saídas mantendo as duas na mesma face (face sul), conforme pode ser visto na Figura 39 (Cenário 18).

Figura 39 - Cenário 18.



Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 416,3 segundos para a evacuação total do local, com uma melhora de 36,5 segundos em relação a simulação com as saídas mais próximas e mantendo o tempo maior tempo de evacuação das pessoas que se localizavam na extremidade superior esquerda do cenário. Conforme já havia sido verificado nos testes realizados no estudo de caso 2, quando há vários ambientes em uma edificação, o posicionamento das saídas de emergência tem maior interferência no tempo total de evacuação do que para os casos de edificações com apenas um ambiente. Neste caso já houve uma redução significativa no tempo total de evacuação, porém ainda excedeu em 177,53% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 43,00% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). O tempo ainda muito elevado se dá pelo motivo de as saídas estarem em posições de difícil acesso e visualização, fazendo com que os ocupantes tenham que ultrapassar diversas passagens mais estreitas até alcançarem uma saída, ocasionando bloqueios de fluxo nestas passagens (Figura 40).

Figura 40 - Gráfico de densidade gerado pelo pathfinder para o cenário 18, demonstrando o bloqueio em virtude das aglomerações dos ocupantes do cenário nas passagens anteriores as saídas.



O segundo teste realizado alterando o posicionamento das saídas do estudo de caso 3 consistiu em posicionar as saídas de emergência na face leste, conforme pode ser visto na Figura 41 (Cenário 19). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 253,0 segundos para a evacuação total do local, reduzindo em 163,6 segundos em relação ao teste anterior. O tempo de evacuação nesta situação excedeu em 68,67% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 67,61% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Neste caso em específico, o tempo de evacuação foi reduzido principalmente por grande parte dos ocupantes do cenário não terem que ultrapassar passagens mais estreitas antes de chegar até as saídas de emergência. O tempo maior de evacuação ficou para os ocupantes que estavam posicionados mais ao sul e ao centro do cenário, por terem que se movimentar no sentido norte enquanto o maior fluxo estava no sentido leste, e isto faz com que um fluxo bloqueie o outro (Figura 42).

Figura 41 - Cenário 19.

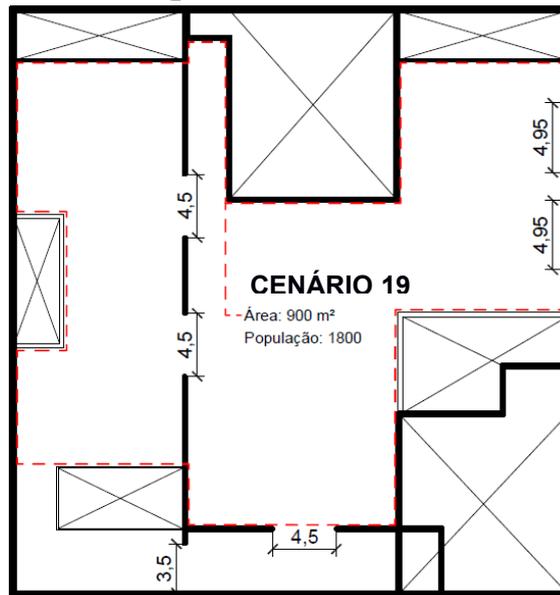
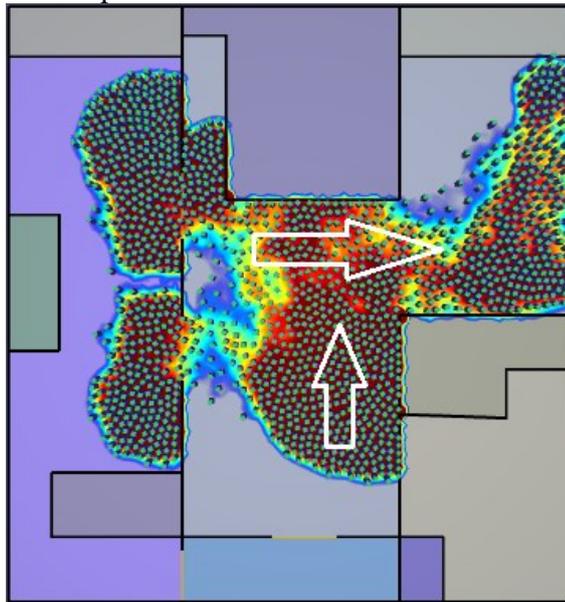


Figura 42 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, com indicação das direções dos fluxos, para o cenário 19, demonstrando que o fluxo no sentido oeste-leste bloqueia o fluxo no sentido sul-norte.



O terceiro teste realizado no estudo de caso 3 alterando o posicionamento das saídas de emergência foi com as saídas posicionadas na face oeste, uma ao lado da outra, conforme a Figura 43 (Cenário 20). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 304,5 segundos para a evacuação total do local, com um aumento no tempo em relação a simulação com as saídas na face leste mas ainda apresentando resultado melhor do que no teste com as saídas na face sul. Isto se dá mais uma vez pela necessidade dos ocupantes posicionados mais ao leste do cenário terem que ultrapassar passagens mais estreitas até chegar

a saída. Outro detalhe importante que foi observado nesta situação, foi que os ocupantes com maior tempo para evacuar o cenário foram os que estavam posicionados próximos a face oeste e mais ao sul do cenário, demonstrado pelo círculo vermelho na Figura 44. Estes ocupantes tiveram maior dificuldade em se locomover ao tentarem sair de sua posição inicial, pois necessitavam contornar paredes do cenário enquanto seu deslocamento era bloqueado pelo deslocamento dos outros ocupantes que estavam se locomovendo em sentido oposto (indo na direção das saídas). Neste caso, o tempo de evacuação excedeu em 103,00% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 56,28% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Figura 43 - Cenário 20.

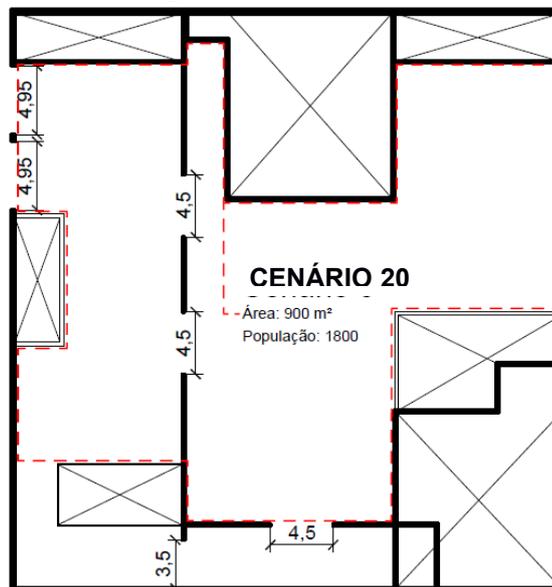
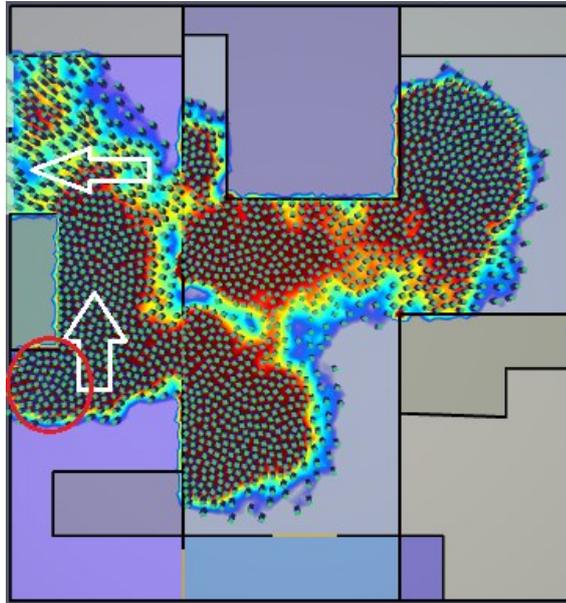


Figura 44 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, com indicação das direções dos fluxos, para o cenário 20, demonstrando que parte dos ocupantes ficam presos (círculo vermelho) pelo fluxo no sentido leste-oeste bloquear o fluxo no sentido sul-norte.



O quarto teste realizado no estudo de caso 3 alterando o posicionamento das saídas de emergência foi com as saídas posicionadas ainda na face oeste, porém afastadas uma da outra, conforme Figura 45 (Cenário 21). Realizando a simulação da evacuação nesta situação, obteve-se o resultado de 210,5 segundos para a evacuação total do local, com uma redução no tempo em relação a simulação com as saídas na face leste e na face sul. Isto se deu pela redução da aglomeração no ambiente das saídas de emergência (Figura 46). Isto foi proporcionado principalmente pela maior distância entre as saídas com relação ao posicionamento da face leste. Neste caso, o tempo de evacuação excedeu em 40,33% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 81,78% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Figura 45 - Cenário 21.

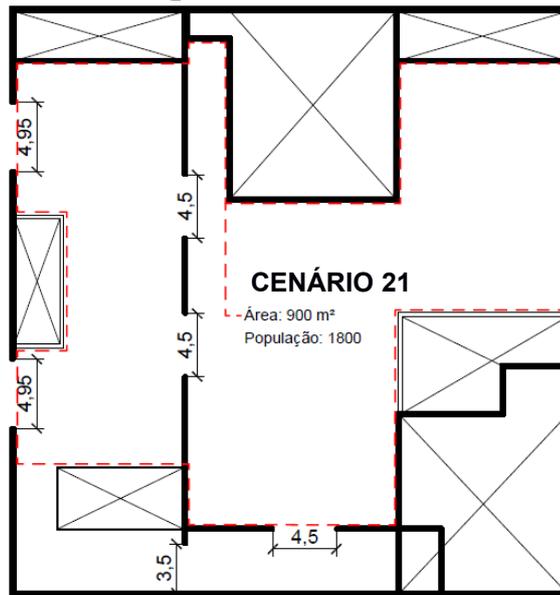
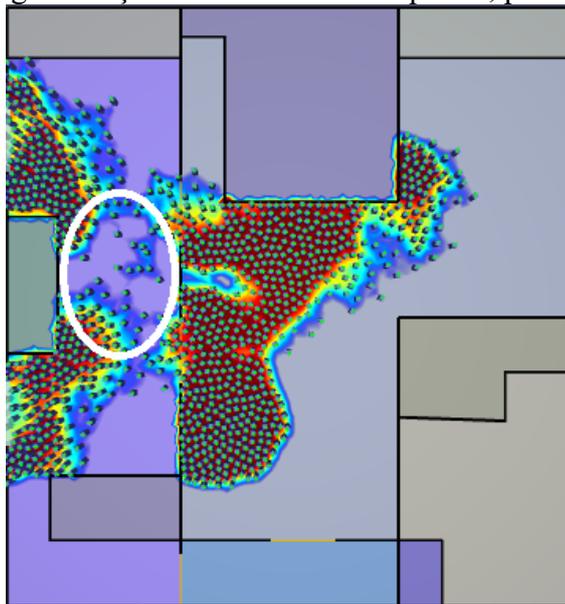


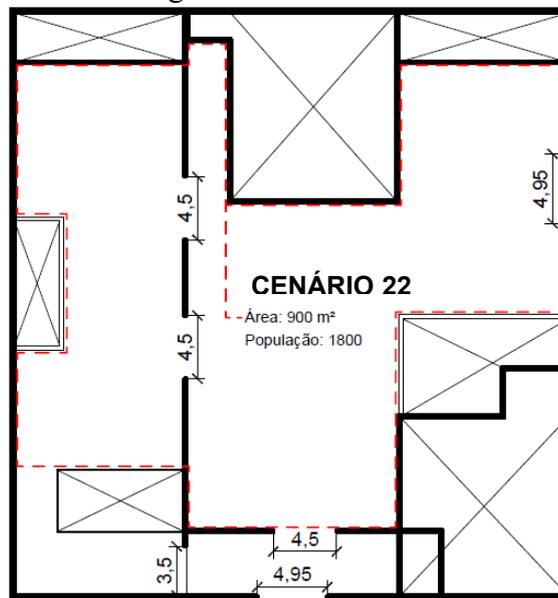
Figura 46 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, demonstrando a redução de aglomeração no ambiente da esquerda, para o cenário 21.



O quinto teste realizado no estudo de caso 3 com alteração no posicionamento das saídas de emergência consistiu em verificar o tempo de evacuação das saídas posicionadas em faces distintas, perpendiculares uma a outra, sendo uma saída na face sul e uma na face leste, conforme Figura 47 (Cenário 22). Este teste resultou em um tempo total de evacuação de 210,5 segundos, ficando exatamente o mesmo encontrado no teste anterior, mas impactando na evacuação de 76,11% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006), demonstrando assim que neste caso a evacuação foi mais lenta nos primeiros 150 segundos e mais rápida nos 60,5 segundos finais. Desta forma o teste anterior

ainda se mostrou mais efetivo na evacuação, conseguindo evacuar mais ocupantes dentro dos tempo máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Figura 47 - Cenário 22.



O sexto teste do estudo de caso 3 alterando o posicionamento das saídas, consistiu em verificar o tempo total de evacuação em casos onde as saídas estão posicionadas em faces distintas, perpendiculares, estando uma saída na face sul e outra na face oeste, conforme Figura 48 (Cenário 23). O resultado para este teste foi de 224,5 segundos com maior tempo de deslocamento dos ocupantes que estavam posicionando no centro do cenário. Neste caso, o tempo de evacuação excede em 49,67% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 76,33% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Este tempo se deu principalmente pela sobrecarga da saída posicionada na face sul, pois a grande maioria dos ocupantes que estavam posicionados no ambiente central e no ambiente da direita optaram por evacuar por esta saída, por estarem mais próximos e visualizarem a saída mais rapidamente. Isto fez com que no tempo de 182 segundos de evacuação a saída oeste estivesse vazia, enquanto na saída sul haviam 150 ocupantes para evacuar o local, aglomerados na passagem existente na rota de fuga (Figura 49).

Figura 48 - Cenário 23.

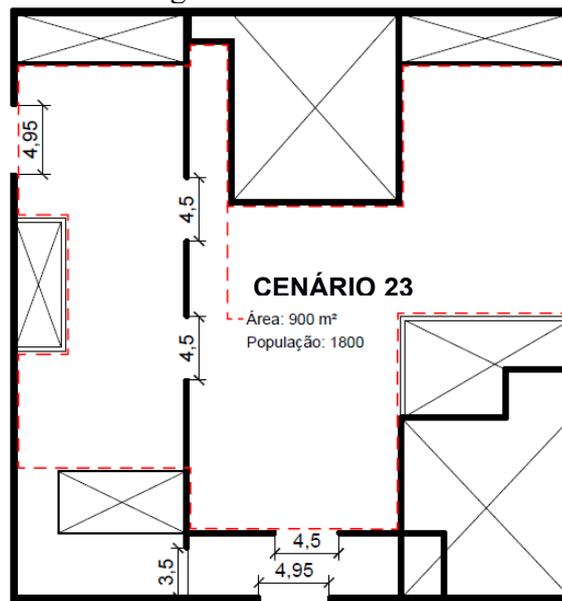
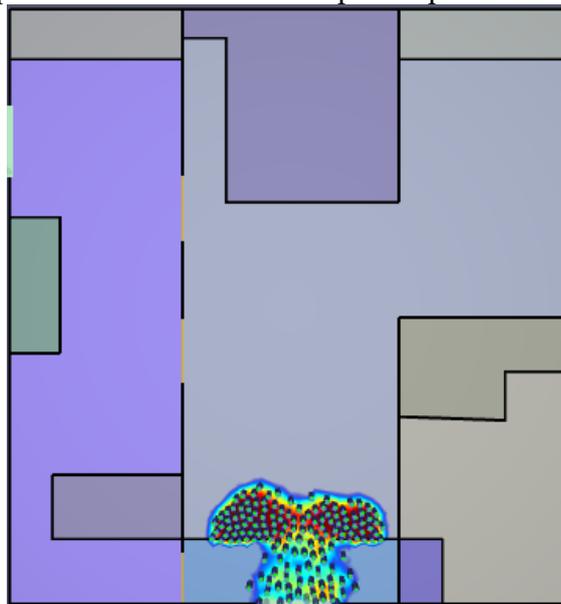
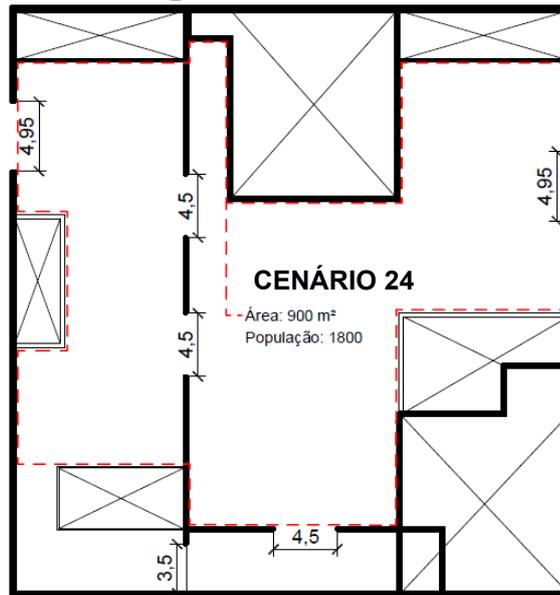


Figura 49 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, demonstrando uma saída vazia enquanto a outra tem 150 ocupantes para evacuar, para o cenário 23.



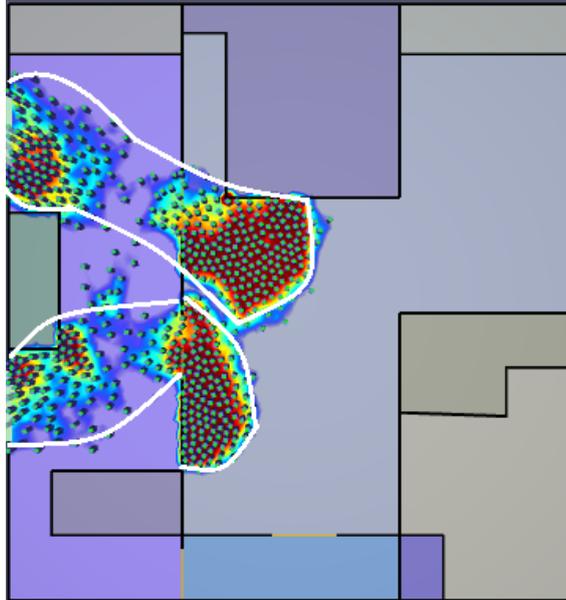
No sétimo teste alterando o posicionamento das saídas do estudo de caso 3, elas foram posicionadas ainda em faces opostas, sendo uma na face leste e uma na face oeste, conforme Figura 50 (Cenário 24). O resultado para este teste foi de 213,8 segundos para evacuação total do cenário, o que excede em 42,53% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 83,78% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). Os ocupantes com maior tempo para evacuar o cenário foram os posicionados no lado esquerdo inferior do cenário, por ocorrer a mesma situação apresentada no terceiro teste.

Figura 50 - Cenário 24.



Como pode ser visto nos resultados das sete simulações alterando o posicionamento das saídas no estudo de caso 3, assim como já ficou evidenciado nos testes realizados no estudo de caso 2, quando há mais de um ambiente em uma edificação, o posicionamento das saídas é determinante no tempo total de evacuação. Neste estudo de caso o posicionamento das saídas que se mostrou com melhor desempenho foi no cenário 21 (Figura 45), com as duas saídas posicionadas na face oeste do cenário e afastadas uma da outra. Isto se deu principalmente porque esta configuração de saídas foi a que apresentou menor tamanho de aglomerações de ocupantes durante o deslocamento até as saídas. Tal fator foi proporcionado porque as duas passagens do ambiente central para o ambiente da esquerda têm um bom afastamento entre elas assim como as saídas também estão afastadas entre si, proporcionando uma auto organização da multidão ao evacuar o local (Figura 51).

Figura 51 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, com indicação divisão da multidão em duas partes semelhantes, para o cenário 21.



4.3.3. Alterações no número total de saídas projetadas de acordo com a determinação das normas brasileiras

Para verificar a influência do número de saídas de emergência no tempo total de evacuação no estudo de caso 3, foi alterado o número total de saídas para três e quatro saídas. Nestes casos o dimensionamento total das saídas não foi alterado, permanecendo de acordo com a determinação das normas, e as saídas foram posicionadas uma em cada face da planta baixa no caso de três saídas e, no caso de quatro saídas foram posicionadas duas saídas na face oeste, uma na face sul e uma na face leste, conforme pode ser visto nas Figuras 52 e 53 (Cenário 25 e Cenário 26).

Figura 52 - Cenário 25.

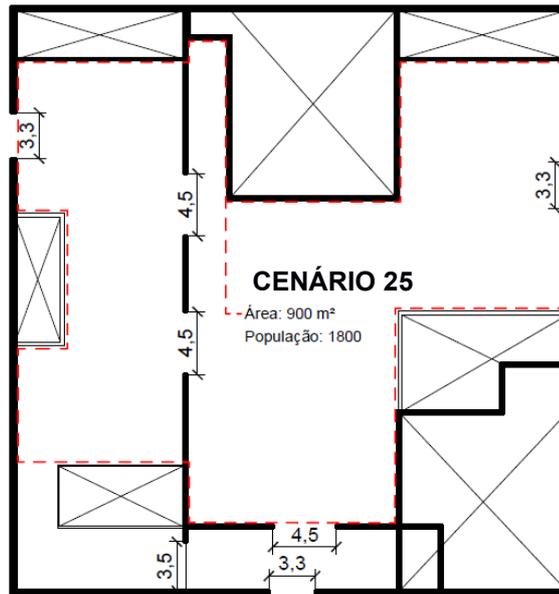
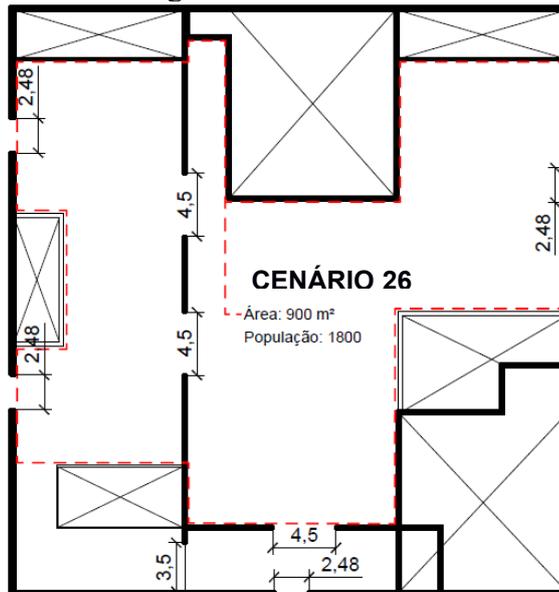


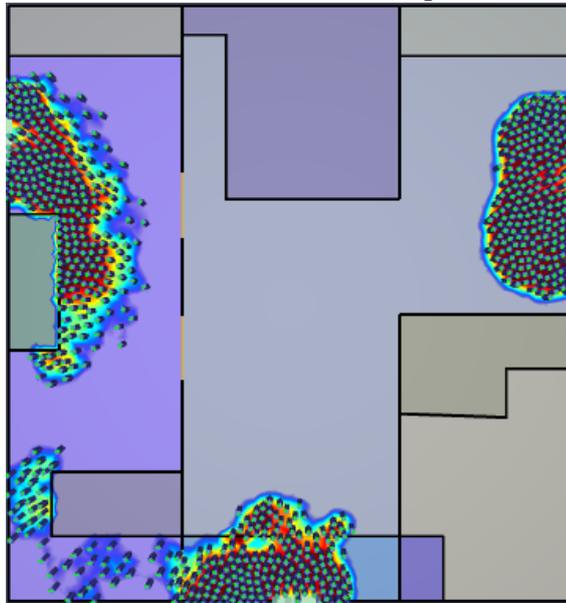
Figura 53 - Cenário 26.



Realizando a simulação da evacuação no Cenário 25 (Figura 52), com três saídas de emergência, obteve-se o resultado de 190,5 segundos para a evacuação total do local, apresentando redução no tempo de evacuação em comparação com as simulações realizadas com duas saídas de emergência. O tempo de evacuação neste caso excedeu em 27% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 84,89% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). O resultado deste caso se deu porque conforme a distribuição dos ambientes deste estudo de caso, a utilização de três saídas posicionadas uma em cada face proporcionou que os ocupantes conseguissem se

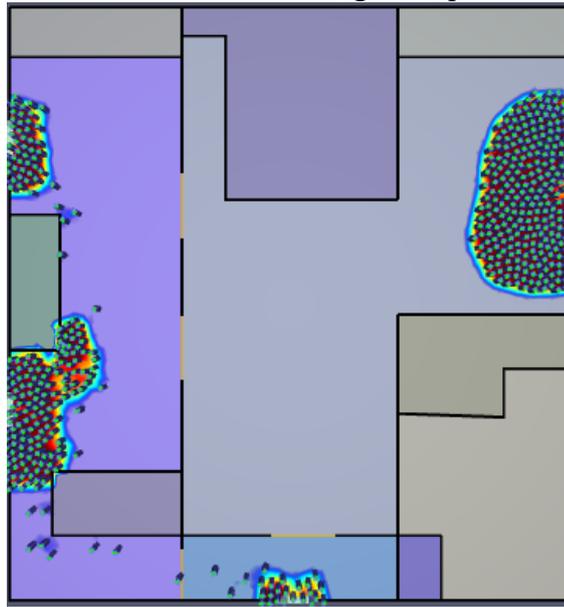
dividir em três massas de pessoas com volumes muito semelhantes (Figura 54), não havendo sobrecarga em apenas uma das saídas nem ocasionando pontos de aglomeração onde o fluxo acaba ficando muito mais lento.

Figura 54 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 25, demonstrando a divisão do número de ocupantes em cada saída.



O segundo teste do estudo de caso 3 aumentando o número de saídas foi realizado no Cenário 26 (Figura 53), considerando quatro saídas de emergência com a dimensão total mantida de acordo com o previsto nas normas. Neste caso obteve-se o resultado de 240,50 segundos para a evacuação total do local, apresentando um aumento muito significativo no tempo de evacuação em comparação com a situação anterior. Verifica-se com este teste que, no estudo de caso 3, ao aumentarmos o número de saídas para três e posicionarmos uma em cada face da edificação há redução no tempo de evacuação, mas ao aumentarmos para quatro o tempo aumenta consideravelmente. Analisando os dados da simulação percebeu-se que isto ocorreu porque a saída da face leste ficou sobrecarregada. Como este teste consistiu em aumentar o número de saídas, mas a dimensão total somada por todas as saídas foi preservada, cada saída acabou ficando com largura menor e, dessa forma, o número de ocupantes que optaram por evacuar pela saída leste foi superior ao que sua dimensão comporta, ocasionando uma sobrecarga e fazendo com que o fluxo fosse bloqueado (Figura 55). O tempo de evacuação neste caso excedeu em 60,33% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 82,83% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Figura 55 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 26.



Comparando as duas situações verificou-se que aumentar o número de saídas em certos casos pode reduzir o tempo de evacuação, mas em certos casos pode aumentar. Com isso, é necessário sempre analisar os fluxos e o número de ocupantes que deverá optar por cada saída, para que não haja uma sobrecarga em uma das saídas caso elas tenham dimensões iguais. Como se pode verificar nos testes, com três saídas de emergência o tempo total de evacuação foi menor, mas o número de pessoas que conseguiram evacuar o local no tempo de 60 segundos também foi menor. Isto demonstra que utilizar mais saídas proporciona um início de evacuação mais rápido, pois a visualização e a percepção das saídas é facilitada e a distância até as saídas é reduzida, porém no momento que alguma destas saídas é sobrecarregada o fluxo se torna mais lento, muitas vezes ficando parado para alguns ocupantes, e isto ocasiona um tempo total de evacuação maior.

4.3.4. Alterações no dimensionamento das saídas de emergência

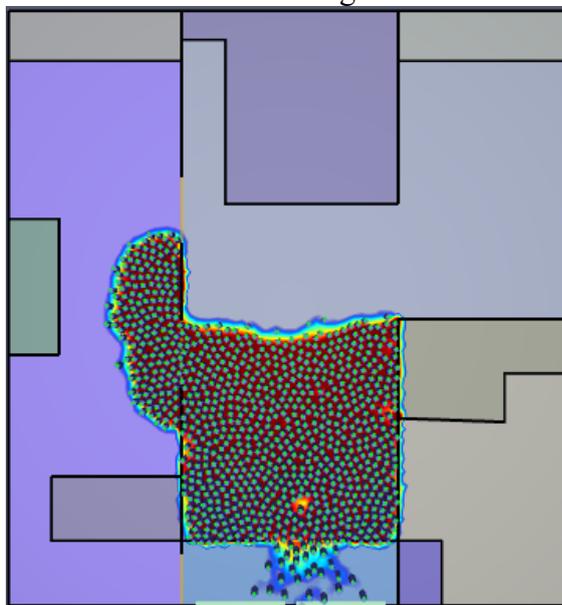
Nesta etapa do trabalho, para verificar a influência do dimensionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação do estudo de caso 3, foram feitas alterações aumentando a largura das saídas em 25% e 50%, considerando três posicionamentos de saídas diferentes:

- a) Duas saídas posicionadas na face sul, cenário 17 (Figura 36).
- b) Duas saídas posicionadas na face oeste afastadas uma da outra, cenário 21 (Figura 45).
- c) Três saídas de emergência posicionadas uma em cada face, cenário 25 (Figura 52).

A escolha destes três posicionamentos se deu pelos motivos de: a – ser a planta baixa padrão do estudo de caso 3 e estar em conformidade com as normas, b – ser o cenário do estudo de caso 3 com alteração de posicionamento de saídas de emergência que apresentou menor tempo de evacuação para situações com duas saídas, e c – ser o cenário do estudo de caso 3 que apresentou menor tempo de evacuação até o momento. Desta forma optou-se por alterar as dimensões das saídas nestas três situações com a finalidade de comparar os resultados com as situações dos testes anteriores.

Os primeiros testes consistiram em aumentar o dimensionamento das saídas em 25% para as situações a, b e c. Os resultados obtidos foram de 453,5 segundos (a), 206,3 segundos (b) e 166,3 segundos (c) para a evacuação total do cenário. O tempo ainda muito elevado da situação “a” se dá pelo motivo de que a passagem que fica antes das saídas da emergência, na rota de fuga, tem dimensão muito inferior as saídas, tendo 4,50 metros. Isto acaba ocasionando sobrecarga na passagem e faz com que o deslocamento trave antes mesmo de chegar nas saídas (Figura 56). Já na situação “b” o tempo de evacuação é reduzido em virtude do afastamento maior entre as saídas, por haver duas passagens de 4,50 metros na rota de fuga ao invés de apenas uma, e por estas passagens estarem afastadas uma da outra. Porém, ao aumentar o dimensionamento das saídas em 25% neste caso a redução do tempo foi de apenas 4,2 segundos comparando com o dimensionamento das saídas de acordo com as normas. Esta diferença tão pequena ocorre pelo dimensionamento das passagens ter sido preservado. Na situação “c”, mais uma vez o tempo de evacuação foi o menor do estudo de caso 3, pelo motivo de que a distribuição dos ocupantes que utilizam cada uma das saídas fica mais uniforme, conforme já foi evidenciado anteriormente neste trabalho.

Figura 56: Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para o cenário 17 com saídas dimensionadas 25% acima das dimensões exigidas nas normas, demonstrando a aglomeração da multidão causada pelo bloqueio gerado na passagem que fica anterior as saídas de emergência.



O segundo teste realizado considerou o aumento de 50% no dimensionamento das saídas para as situações a, b e c, com os resultados obtidos de 427 segundos, 205,3 segundos e 157,8 respectivamente para evacuação total do cenário. Houve uma redução ainda maior no tempo total de evacuação em relação ao teste anterior, principalmente na situação c, mas em nenhum caso o tempo total de evacuação ficou dentro do máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006). O tempo de evacuação da situação c, com a largura das saídas dimensionadas 50% acima das determinações das normas, excedeu em 5,2% o indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 99,22% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006). O motivo disto é que, no caso de uma edificação com diversos ambientes e unidades de passagem nas rotas de fuga com largura menores que as saídas de emergência, o dimensionamento de toda rota de fuga deve ser alterado para que haja um impacto maior na redução do tempo total de evacuação.

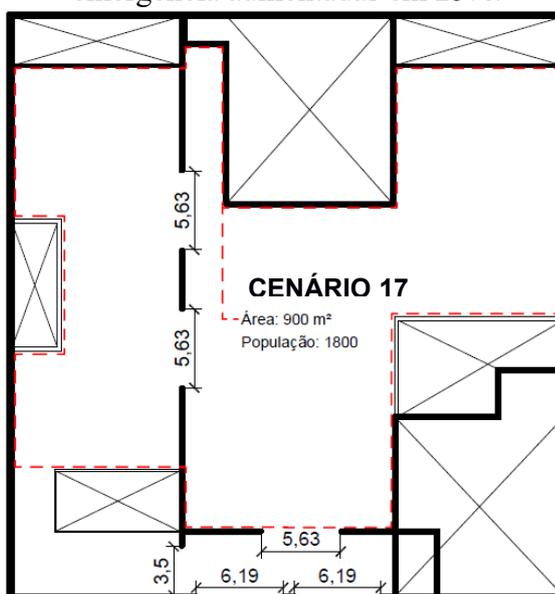
4.3.5. Aumentar o dimensionamento (largura) de todas as passagens que compõem a rota de fuga

Nesta etapa do trabalho, os testes realizados consistem em aumentar em 25% e 50% a largura de toda a rota de fuga. Isto quer dizer que não será aumentada a dimensão apenas da saída de emergência, mas também das passagens de um ambiente para outro dentro do cenário

(Figura 57). Assim como no caso anterior, parte 4.3.4. deste trabalho, e pelos mesmos motivos citados lá, foram feitas alterações aumentando a largura das rotas considerando os três posicionamentos de saídas diferentes:

- Duas saídas posicionadas na face sul, cenário 17 (Figura 36)
- Duas saídas posicionadas na face oeste afastadas uma da outra, cenário 21 (Figura 45)
- Três saídas de emergência posicionadas uma em cada face, Cenário 25 (Figura 52)

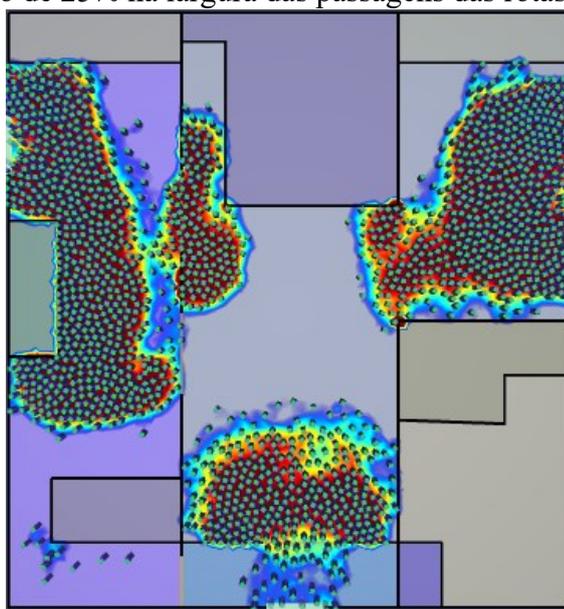
Figura 57 - Cenário 17 com as dimensões das passagens da rota de fuga e das saídas de emergência aumentadas em 25%.



No primeiro teste realizado considerou-se o aumento de 25% na largura da rota de fuga das três situações. Os resultados destes testes quanto ao tempo total de evacuação dos cenários foram de 371,3 segundos para a situação “a”, 187 segundos para “b” e 183,8 segundos para “c”, apresentando reduções de 82,2 segundos e 19,3 segundos para as situações a e b respectivamente e aumento de 17,5 segundos para a situação “c” no tempo de evacuação em comparação as simulações onde foram aumentadas apenas as larguras das saídas. Foi possível verificar com estes resultados que não é em toda situação que o aumento da largura das passagens melhora o fluxo e reduz o tempo de evacuação. Nas situações “a” e “b” houve redução no tempo de evacuação, onde na situação “a” esta redução foi bem mais significativa, reduzindo em 18,13 % o tempo total de evacuação. Porém, na situação “c” o tempo aumentou em 10,52%, sendo que esta situação era a que havia apresentado melhor desempenho até o momento. Isto ocorre porque quando são alargados as passagens que ficam na rota até as saídas, o número de ocupantes chegando simultaneamente em cada uma das saídas é aumentado, e

quando se mantém o dimensionamento total das saídas mas se altera o número de saídas, o tamanho de cada uma das saídas é reduzido, fazendo com que seja mais fácil de ocorrer sobrecarga em algumas das saídas provocando o travamento do fluxo dos ocupantes que tentam evacuar o local (Figura 58).

Figura 58 - Gráfico de densidade de deslocamento, gerado pelo Pathfinder, para cenário 25, ao tempo de 15 segundos de evacuação demonstrando a sobrecarga nas saídas gerada pelo aumento de 25% na largura das passagens das rotas de fuga.



No segundo teste realizado com aumento de 50% na dimensão da largura das rotas de fuga considerando as três situações, os resultados quanto ao tempo total de evacuação dos cenários foram de 306,8 segundos para a situação “a”, 173,8 segundos para a “b” e 148,8 segundos para a “c”, apresentando reduções de 120,2 segundos, 31,50 segundos, e 9 segundos, para as situações a, b e c respectivamente, no tempo de evacuação em comparação as simulações onde foram aumentadas apenas as larguras das saídas. Neste caso temos uma redução no tempo de evacuação em todas as situações, pois quando a largura das saídas de emergência está dimensionada pelo menos 50% acima do que as normas exigem a probabilidade de haver sobrecarga em uma das saídas, ocasionando travamentos no fluxo da multidão ao tentar evacuar o local, é reduzida.

Como se pode verificar, houve redução ainda maior no tempo total de evacuação quando alterado o dimensionamento de todas as unidades de passagens da rota de fuga. Destacase o teste realizado aumentando em 50% o dimensionamento na situação “c”, pois o tempo total de evacuação ficou dentro do máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006). O tempo de evacuação da situação “c”, com aumento de 50% na largura das saídas e das unidades

de passagem da rota de fuga, ficou 0,8% abaixo do indicado na NBS Building Regulations (2006), impactando assim na evacuação de 100% da população dentro do tempo ideal determinado pela NBS Building Regulations (2006).

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As alterações no posicionamento das saídas de emergência são determinantes no tempo total de evacuação dependendo do número de ambientes que uma edificação possui. Quanto mais ambientes e mais complexa a rota de fuga da edificação, maiores são as influências do posicionamento das saídas de emergência no tempo total de evacuação. Em locais com apenas um ambiente a variação no tempo de evacuação ao se alterar o posicionamento das saídas é muito baixa, mas no momento em que é incluído um segundo ambiente neste local, ou quando se tem um local com diversos ambientes, esta variação aumenta muito, fazendo com que o posicionamento das saídas de emergência tenha influência direta no tempo total de evacuação da edificação (Figura 59). Para edificações com dois ou mais ambientes, o posicionamento das saídas determina se durante o deslocamento da multidão haverá bloqueios, aglomerações, sobrecarga nas saídas e também a visibilidade das saídas para os ocupantes de uma edificação. Em uma situação de emergência, é fundamental que a grande maioria dos ocupantes consiga uma visualização rápida de todas as saídas de emergência, pois caso isto não ocorra, ao procurarem uma saída, os ocupantes realizam fluxos distintos onde uns acabam bloqueando o movimento de outros reduzindo a velocidade de deslocamento da multidão, além de optarem pela primeira saída visível ocasionando uma sobrecarga nesta saída, caso a outra esteja em local de pouca visibilidade, fazendo com que haja uma superlotação e um trancamento na passagem pela saída.

Figura 59 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações no posicionamento das saídas de emergência.

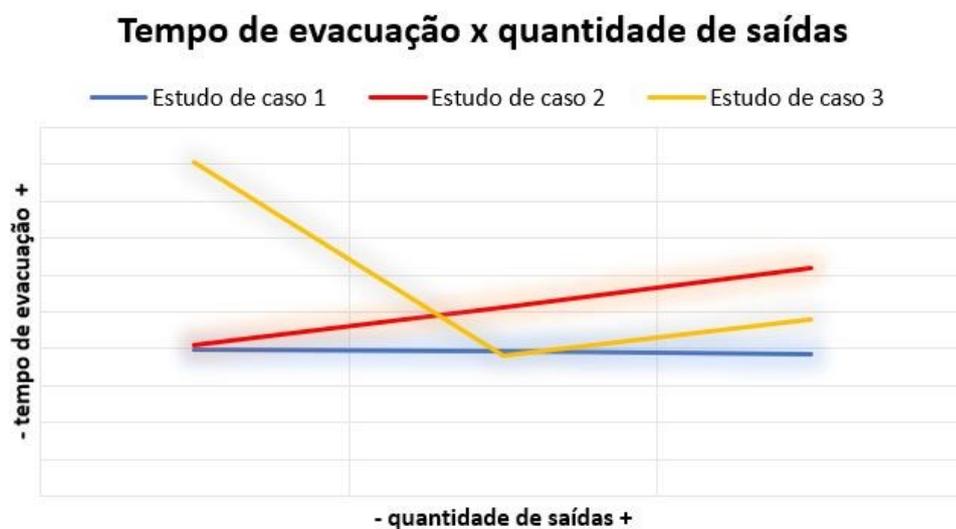


Alterando o número total de saídas das edificações, os resultados quanto ao tempo de evacuação são bem distintos em cada estudo de caso. Quanto maior o número de ambientes de um local, também maior é a influência do número total de saídas no tempo total de evacuação, porém aumentar o número de saídas não determina reduzir o tempo de evacuação. Em cenários com um ambiente, a alteração do número de saídas de emergência tem influência muito pequena na variação no tempo total de evacuação, mantendo o tempo de evacuação quando o número de saídas é alterado em 100% praticamente o mesmo. Já em cenários com dois ambientes, a variação do tempo total de evacuação é bem mais significativa, variando em mais de 50% quando o número de saídas é alterado em 100%. Isto não quer dizer que quanto maior o número de saídas menor será o tempo de evacuação, na verdade, no estudo de caso 2, em cenários com dois ambientes, este resultado foi o contrário, pois no momento em que o número total de saídas foi aumentado de duas para quatro, o tempo total de evacuação também aumentou pelo mesmo motivo citado no parágrafo anterior, a visibilidade das saídas. Quando os ocupantes se deslocam de um ambiente que não tem ligação direta com as saídas de emergência para o ambiente que tem ligação direta com as saídas de emergência, eles tendem a optar por evacuar pela primeira saída que visualizam, ocasionado uma sobrecarga e um trancamento nesta saída.

Porém, no estudo de caso 3, em cenários com mais de dois ambientes, o resultado inverte (Figura 60), onde aumentando o número de saídas de emergência o tempo de evacuação é reduzido. Isto ocorre porque quando temos diversos ambientes e distribuimos mais saídas de emergência, estando afastadas umas das outras, a velocidade em visualizar a saída é aumentada,

pois maiores são as chances dos ocupantes visualizarem uma saída de emergência próxima ao seu ponto inicial de deslocamento. Quanto maior o número de ambientes, mais importante é haver uma saída próxima a cada um dos ambientes, fazendo com que independentemente da posição inicial de deslocamento de qualquer ocupante ele visualize e se direcione para uma das saídas o mais rápido possível. Isto aumenta a velocidade inicial de deslocamento da multidão e por consequência reduz o tempo total de evacuação, considerando que as saídas tenham dimensões suficientes para suportar o fluxo que deve passar por elas. Caso a largura das saídas seja insuficiente o fluxo será desacelerado, como ocorreu no teste de simulação desta pesquisa em que foram consideradas quatro saídas de emergência no estudo de caso 3, pois ao aumentar o número de saídas de três para quatro, preservando a dimensão total somada por todas as saídas, a largura de cada saída foi reduzida e, conseqüentemente, a capacidade de passagem também, elevando o tempo total de evacuação. De qualquer forma, em uma edificação com vários ambientes, ao se considerar o número de saídas acima do mínimo exigido pelas normas brasileiras, que preveem duas saídas de emergência para locais de reunião de público, o tempo de evacuação é reduzido. Porém, quanto mais se aumenta o número de saídas o tempo de evacuação não continua reduzindo, pois sem alterar a largura total somada pelas saídas a largura de cada uma delas é reduzida e, conseqüentemente, a capacidade de passagem das saídas também.

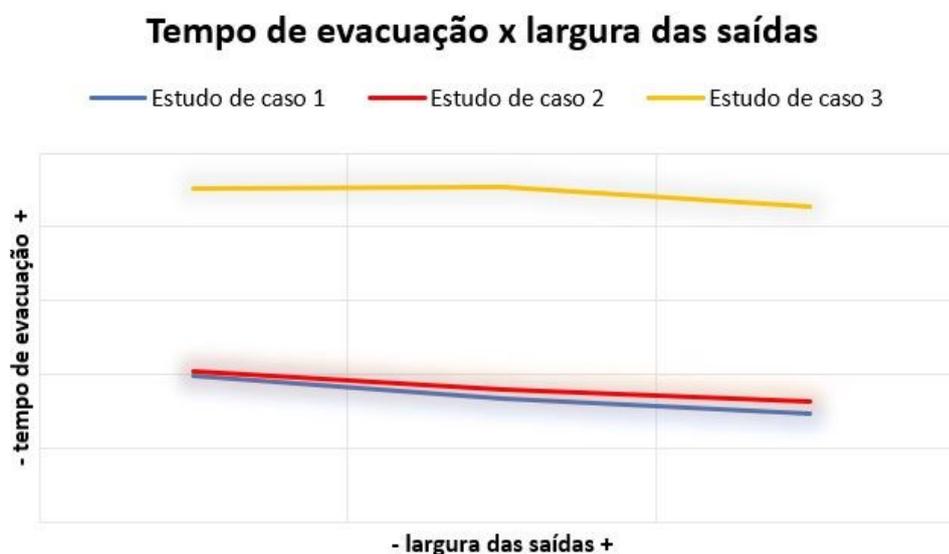
Figura 60 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações na quantidade total de saídas de emergência



O dimensionamento da largura das saídas de emergência é extremamente significativo no tempo total de evacuação de uma edificação. No estudo de caso 1, em cenários com apenas

um ambiente, conforme aumenta-se a largura das saídas em até 50% o tempo total de evacuação é reduzido em até 26,05%. No estudo de caso 2, em cenários com dois ambientes, conforme aumenta-se a largura das saídas em até 50% o tempo de evacuação é reduzido em até 19,87%. Já no estudo de caso 3, em cenário com mais de dois ambientes, a mesma regra não se aplica, pois nos testes realizados nos cenários com diversos ambientes nesta pesquisa o aumento em 25% da largura das saídas ocasionou no aumento de 0,80 segundos no tempo total de evacuação. Esta diferença no tempo total de evacuação é tão pequena que se pode considerar como um caso onde a alteração no dimensionamento da largura das saídas não impactou na evacuação. Isto é um demonstrativo de que dependendo da distribuição dos ambientes, ocorrem obstruções que impedem a aceleração do fluxo da multidão, de modo que o aumento na largura das saídas de emergência não reduza o tempo de evacuação de um local, pois a velocidade de deslocamento da multidão até a saída se mantém. Por isso, a alteração na largura das saídas de emergência apresenta maior influência em edificações com apenas um ambiente (Figura 61), pois não há obstruções ao fluxo dos ocupantes até as saídas, fazendo com que quanto maiores forem as saídas mais rápida será a evacuação.

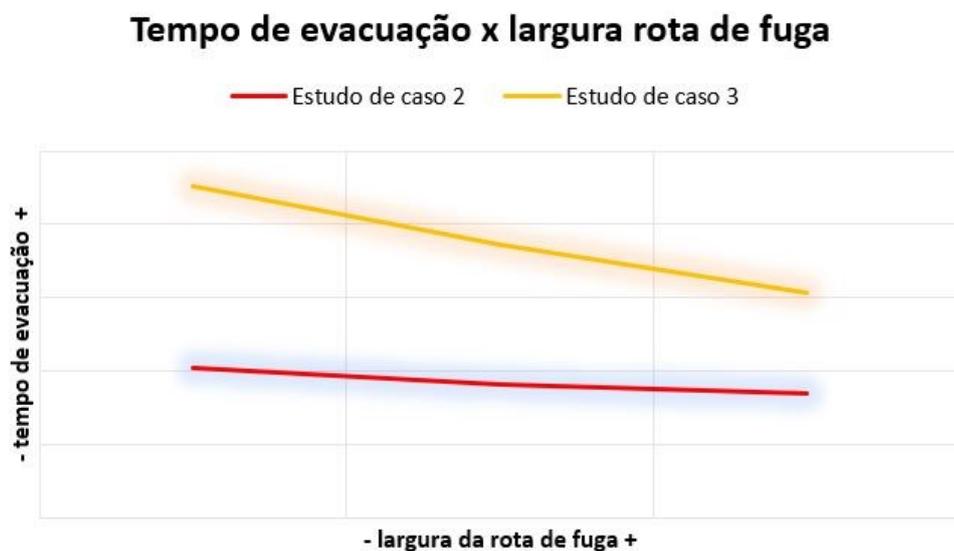
Figura 61 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações na largura total de saídas de emergência.



Para edificações com dois ambientes ou mais, as alterações no dimensionamento não devem se limitar apenas as saídas de emergência, mas devem ser aplicadas em todas as unidades de passagem constantes na rota de fuga de uma edificação. Ao serem aplicados aumentos na largura das saídas de emergência e das unidades de passagens das rotas de fuga no estudo de

caso 3 o impacto no tempo total de evacuação foi ainda maior. Ao aumentarmos as larguras em até 50%, o tempo total de evacuação foi reduzido em até 32,25%, demonstrando que em locais com diversos ambientes o dimensionamento de todas as unidades de passagens da rota de fuga deve ser determinado com muita atenção. Sendo que quanto maior o número de ambientes, maior é a interferência do dimensionamento das unidades de passagem no tempo total de evacuação (Figura 62).

Figura 62 - Gráfico da relação entre a variação do tempo de evacuação e as alterações na largura da rota de fuga.



Alterações apenas no posicionamento, apenas na quantidade ou apenas nos dimensionamentos das saídas e unidades de passagem das rotas de fuga causam uma variação muito grande no tempo total de evacuação (Tabela 2). Porém, ao alterarmos apenas o posicionamento das saídas ou apenas a quantidade de saídas, em nenhum caso de simulação desta pesquisa o tempo total de evacuação esteve de acordo com o tempo máximo de evacuação determinado pela NBS Building Regulations (2006) e ao alterarmos apenas o dimensionamento das saídas somente no cenário com um ambiente o tempo de evacuação ficou abaixo do máximo determinado pela NBS Building Regulations (2006).

Tabela 3 - Variação do tempo de evacuação, em segundos, para cada hipótese testada.

HIPÓTESE	ESTUDO DE CASO 1	ESTUDO DE CASO 2	ESTUDO DE CASO 3
Alteração posicionamento saídas	7,7	69,8	242,3
Alteração no número total de saídas	5,2	103,2	262,3
Alteração no dimensionamento das saídas	51,7	40,8	25,8
Alteração no dimensionamento das rotas	-	36	146

Isto demonstrou que para uma redução mais significativa no tempo total de evacuação, tornando-a mais segura, as alterações projetuais das saídas de emergência devem ser em conjunto, alterando simultaneamente o posicionamento, a quantidade e o dimensionamento das saídas e das unidades de passagem das rotas de fuga. Alterando os projetos de saídas de emergência nestes três parâmetros, para cada um dos estudos de caso realizados nesta pesquisa foi possível obter resultados que atendem o tempo máximo de evacuação determinado pela NBS, com 146,8 segundos em cenário com apenas um ambiente, 150 segundos em cenário com dois ambientes e 148,8 segundos em cenário com mais de dois ambientes.

Considerando cenários atendendo as diretrizes constantes nas normas brasileiras, tanto em dimensão de largura de saídas quanto nas outras exigências normativas, em nenhum caso de simulação desta pesquisa o tempo total de evacuação esteve de acordo com o tempo máximo de evacuação determinado pela NBS Building Regulations (2006). Isto indica que as determinações utilizadas no Brasil que direcionam todos os projetos de saídas de emergência em edifícios estejam desatualizadas e ineficientes.

4.5. SUGESTÕES PARA PROJETOS DE ROTAS DE FUGA

A partir da análise dos resultados encontrados nos testes realizados nesta pesquisa, foram elaboradas sugestões para projetos de saídas de emergência em locais de reunião de público com a finalidade de proporcionar redução no tempo total de evacuação destes locais em comparação com projetos que atendem apenas as exigências constantes nas legislações e normas brasileiras. Conforme foi verificado ao longo da pesquisa, não há como serem definidas regras fixas de alterações nos projetos de saídas de emergência que proporcionem redução no tempo de evacuação para qualquer tipo de edificação, pois conforme o número e a disposição dos ambientes de uma edificação cada tipo de alteração nos projetos das saídas apresenta

interferência distinta no tempo total de evacuação. Sendo assim, foram elaboradas sugestões para três tipos de situações, baseadas nos três cenários onde foram realizados os testes por simulação nesta pesquisa:

- a) Evacuação em ambiente único;
- b) Evacuação em edificações com dois ambientes;
- c) Evacuação em edificações com três ambientes ou mais.

Para redução no tempo de evacuação de ambientes únicos, com ligação direta a um ambiente externo ou a uma área de escape, a característica do projeto das saídas que mais impacta no tempo de evacuação é a dimensão das saídas. Desta forma, verifica-se que quanto maior a largura das saídas menor é o tempo de evacuação. Sendo assim, em locais com apenas um ambiente, devem ser projetadas saídas, preferencialmente, com no mínimo uma largura 50% maior que o exigido nas normas brasileiras.

No caso de dois ambientes, é fundamental levar em consideração o posicionamento das saídas de emergência em relação a posição dos acessos ao ambiente interno da edificação. As saídas devem estar posicionadas de forma que os ocupantes que ficam no interior de um outro ambiente da edificação, sem acesso direto as saídas de emergência, ao deixarem este ambiente interno visualizem as saídas de emergência o mais rápido possível. Portanto, as saídas também devem estar muito bem sinalizadas e iluminadas. Além disso, as larguras dos acessos aos ambientes internos das edificações nunca devem ser superiores as larguras das saídas de emergência, pois isto faz com que um número maior de pessoas chegue as saídas ao mesmo tempo, provocando uma grande aglomeração e conseqüentemente ocorrendo um trancamento na passagem das saídas para o ambiente externo. Desta forma, para edificações com dois ambientes, as saídas devem ser muito bem sinalizadas, de rápida visualização para os ocupantes que necessitam deixar um outro ambiente antes de se direcionarem as saídas de emergência, e devem possuir largura superior a largura dos acessos a outros ambientes. Além disso, nestes casos também devem ser projetadas saídas, preferencialmente, com no mínimo uma largura 50% maior que o exigido nas normas brasileiras.

Para edificações com três ambientes ou mais deve ser observada a rota de fuga dos ocupantes de cada ambiente até a saída de emergência mais próxima. Neste caso, também é fundamental que os ocupantes visualizem uma saída o mais rápido possível ao deixar qualquer ambiente da edificação. Para que isto seja possível, as saídas de emergência devem estar distribuídas na edificação de forma que estejam cada uma delas o mais próximas possível dos acessos aos ambientes internos da edificação e devem estar também muito bem sinalizadas. Para que isto seja possível, o número total de saídas deve ser suficiente para que cada ambiente

da edificação tenha sua evacuação independente da evacuação dos outros ambientes. Os acessos aos ambientes internos devem ter largura superior a largura mínima determinada pelas normas brasileiras para saídas de emergência e, como na situação anterior, cada saída de emergência deverá ter largura superior a largura dos acessos aos ambientes internos. Neste caso, devem ser projetadas rotas de fuga, preferencialmente, com no mínimo uma largura 25% maior que o exigido nas normas brasileiras para as saídas de emergência, e saídas de emergência com largura pelo menos 50% maior que o mínimo exigido nas normas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa proporcionou um melhor entendimento sobre a interferência dos projetos das saídas de emergência no tempo total de evacuação dos locais de reunião de grande público. Através da realização de testes por simulação computacional de evacuação em diversos cenários, conforme as saídas de emergência são alteradas tanto em suas dimensões, quanto posicionamento e quantidade, é possível verificar que o tempo de evacuação também é alterado significativamente.

Porém, não há como determinarmos regras ou diretrizes fixas quanto ao tipo específico de alteração de projeto que ocasiona redução no tempo de evacuação para todos os locais em situações de emergência, pois dependendo da configuração dos ambientes de cada local os resultados alterando o posicionamento, a quantidade e o dimensionamento das saídas de emergência se apresentam de forma distinta, onde em alguns casos a alteração no posicionamento das saídas impactou na redução do tempo de evacuação mas em outros não, onde em alguns casos a alteração no número total de saídas apresentou redução no tempo total de evacuação mas em outros não, e também, e o mais surpreendente, em alguns casos onde se aumentou o dimensionamento da largura das saídas de emergência o tempo de evacuação aumentou ao invés de reduzir.

Pode-se ver nesta pesquisa que em locais com apenas um ambiente o fator que mais interfere no tempo total de evacuação é a largura total das saídas. No entanto, em locais com dois ou mais ambientes, o posicionamento e o número total de saídas de emergência passam a ter uma interferência muito mais significativa, fazendo com que alterações apenas na largura das saídas não tenham grande impacto no tempo total de evacuação. Estas diferenças ocorrem porque ao se tratar de emergências, o tempo de evacuação também é influenciado pela disposição dos espaços na edificação (configuração espacial) e pela rota que os ocupantes precisam percorrer até chegar as saídas de emergência. A velocidade de visualização das saídas de emergência se torna de extrema importância no momento em que há vários ambientes em uma edificação, pois qualquer obstrução que faça com que os ocupantes tenham dificuldade em visualizar a saída mais próxima fará com que a velocidade e a direção do fluxo de evacuação sejam alteradas. Desta forma, posicionar as saídas de forma que sejam visíveis aos ocupantes de todos os ambientes de uma edificação se mostra de extrema relevância no tempo de evacuação dos espaços em situações de emergência.

Outra questão fundamental e de influência direta no tempo total de evacuação dos espaços é o comportamento humano, pois o modo de agir sob uma situação de risco e estresse

é muito particular e muda de pessoa para pessoa, influenciando no deslocamento das multidões. Durante emergências os indivíduos tendem a se guiar mais pelas emoções do que pela razão, o que pode desencadear o pânico que pode provocar um maior número de vítimas. Isto se dá porque as pessoas tendem a agir por instinto, em virtude do medo e estresse que se fazem presentes em uma situação de emergência.

De qualquer forma, considerando projetos de saídas de emergência de acordo com as diretrizes mínimas das normas brasileiras, em nenhum momento foi possível obter tempo de evacuação de acordo com o determinado pela NBS Building Regulations (2006). Não é possível definir se o tempo máximo determinado está rigorosamente pequeno, se as diretrizes mínimas para projeto de saídas de emergência das normas brasileiras estão falhas, ou se as duas coisas estão incorretas, mas é um fato que considerando projetos que atendem em sua totalidade as determinações das normas e legislação brasileiras o tempo total de evacuação encontrado nas simulações foi muito alto. Como as normas determinam apenas a largura das saídas e a distância máxima a percorrer até as saídas, em edificações com apenas um ambiente acrescentando ajustes no dimensionamento proposto nas normas seria possível termos reduções significativas no tempo total de evacuação, porém em edificações com dois ambientes ou mais o posicionamento das saídas de emergência se faz fundamental para redução do tempo total de evacuação, o que não é previsto em nenhuma norma de nenhuma forma.

Os resultados desta pesquisa indicam que deve haver uma revisão imediata no que define parâmetros mínimos para projetos de saídas de emergência no Brasil, ou pode ser que tragédias sigam se repetindo e pessoas continuem sem conseguir evacuar edificações em tempo suficiente durante uma emergência. Os projetistas, arquitetos e engenheiros, também devem pensar os projetos além das exigências mínimas previstas nas leis e normas, buscando sempre a maior segurança possível para os ocupantes de uma edificação.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se que, em trabalhos futuros, sejam realizadas mais simulações, em ambientes reais diversos, o que poderia validar como maior precisão a metodologia proposta neste trabalho e possibilitar a obtenção de mais diretrizes para os projetos de saídas de emergência. Recomenda-se, também, que sejam utilizados outros diferentes softwares para avaliar saídas de emergência em locais de reunião de grande público para comparar e aprimorar os resultados encontrados nesta pesquisa. De qualquer forma, podemos verificar que estudos como este são de extrema importância para a melhoria na qualidade dos projetos arquitetônicos,

e espera-se que ela sirva como base e influência para que novos estudos sejam realizados e para que os arquitetos e engenheiros pensem em soluções além das previstas nas normas ao projetarem edifícios no Brasil, proporcionando uma maior segurança para todos os usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13532: **Elaboração de projetos de edificações: arquitetura**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. NBR 9050: **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. NBR 9077: **Saídas de emergência em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
ALVES, Alessandra B. C. G.; CAMPOS, André T.; BRAGA, George C. B. **Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura**. In Seminário Internacional Natau, 8, São Paulo, 2008. Disponível em: <www.usp.br/natau/CD/71%20196.pdf> Acesso em: 15/07/2018

ALVES, ALESSANDRA GONÇALVES. **Incêndio em edificações: a questão do escape em prédios altos em Brasília (DF)**. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

ANDRADE, D. **A segurança contra incêndio em uma abordagem para edificações históricas: proposta de reuso para o antigo grupo escolar Augusto Severo**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ARAÚJO, J. M. F. Comportamento humano em incêndios. In SEITO et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008, p. 93-100.

AsBEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes**. Grupo de Trabalho de Sustentabilidade. São Paulo: Prata Design, 2012.

BERTO, A. F. **Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios**. São Paulo, 1991. Dissertação – FAUUSP.

BLUMER, HERBERT. **Comportamento coletivo. Esboço de novos princípios de sociologia**. Nova Yorke: Barnes & Noble, 1951.

BORMIO, MARIANA F. **Avaliação Pós-Ocupação ambiental de escolas da cidade de Bauru (SP) e Lençóis Paulista (SP): um estudo ergonômico visto pela metodologia EWA**. Dissertação de Mestrado em Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2007.

BRENTANO, T. **A proteção contra incêndio no projeto de edificações**. Porto Alegre: Telmo Brentano, 2 eds. 2010.

CARLINI; NAPPO; GALDURÓZ; NOTTO. **Drogas Psicotrópicas: o que são e como agem**. Revista IMESC, nº 3, p. 9-35, 2001.

CINTRA, C. R. G. **A utilização da ISO 6241 na avaliação de edificações escolares, através dos métodos e técnicas da APO – Avaliação Pós-Ocupação**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2001.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL. **Análise do sinistro na Boate Kiss, em Santa Maria, RS.** Porto Alegre, RS. CREA-RS, 2013. Relatório.

DISCHINGER; BINS ELY; PIARDI. **Promovendo acessibilidade nos edifícios públicos.** MPSC, Florianópolis, 2012.

DUARTE; LEITE; PONTES. **Gerenciamento dos riscos de incêndio.** Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

DUMAZEDIER, Joffre. **Lazer e Cultura Popular.** Perspectiva, São Paulo, 1976.
FIRE SAFETY ENGINEERING GROUP. **Exodus Introduction.** The Faculty of Architecture, Computing & Humanities, University of Greenwich: 1997. Disponível em: <https://fseg.gre.ac.uk/exodus/> Acesso em: 03 de março de 2018.

FONSECA, RHEINGANTZ. **O ambiente está adequado? Prosseguindo com a discussão.** Produção, v. 19, nº 3, p. 502-213, 2009.

G1. **Show provoca incêndio em casa noturna na vila olímpica.** 2006. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,AA1363841-5598,00SHOW+PROVOCA+INCENDIO+EM+CASA+NOTURNA+NA+VILA+OLIMPIA.html>. Acesso em: 20 mar. 2018.

GILL, Afonso Antonio; NEGRISOLO, Walter. **Aprendendo com os grandes incêndios.** A segurança contra incêndio / coordenação de Alexandre Itiu Seito., et al. São Paulo: Projeto Editora, 2008, p. 37.

GILL; VALENTIN; ONO. **Projeto de saídas de emergência em edificações: uma análise crítica de parâmetros de dimensionamento em normas e regulamentações vigentes no Estado de São Paulo.** XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis, 2006.

GOMES, MELO. **Lazer no Brasil: trajetória de estudos, possibilidades de pesquisa.** Revista Movimento, v.9, n.1, p. 23-44, Porto Alegre, 2003.

GOUVEIA; ETRUSCO. **Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil.** Revista Escola de Minas, vol. 55, nº 4, Ouro Preto, 2002.

HELBING, D; FARKAS, I; VICSEK, T. **Simulation of Pedestrian Crowd in Normal and Evacuation Situations.** In: SCHRECKENBERG, M; SARMA, S. D (ed) **Pedestrian and Evacuation Dynamics.** Berlim, 2002.

HELBING D.; MOLNAR, P. **Social force model for pedestrian dynamics.** Phys. Ver. E, (S. 1.), v. 51, nº 5, p. 4282-4286, 1995)

HILLIER, B. **Space is the machine.** Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
INTEGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS. **Simulex.** Helix Building, Reino Unido: 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241: **Performance Standards in Buildings**. Geneva: IOS, 1984.

KULIGOWSKI, E. D. **The evaluation of a performance-based design process for a hotel building: The comparison of two egress models**. 2003. Master Dissertation – Master of Science in Fire Protection Engineering – Fire protection Engineering Department, University of Maryland, College Park, 2003.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos da metodologia científica**. 5 eds., São Paulo: Atlas 2003.

LAWSON, Bryan. **Como arquitetos e designers pensam**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

LE BON, GUSTAVE. **A psicologia das multidões**. Paris, 1896.

MONTENEGRO, M. L. O. **Análise de desempenho de saídas de emergência por meio de simulações computacionais – O caso de projetos de edifícios universitários**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MOREIRA, D. de C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Discussão sobre a importância do programa de necessidades no processo de projeto em arquitetura**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, nº 2, p.31-45, 2009.

MUNIZ, R. M. D. O. **O uso de simuladores como uma ferramenta de auxílio na definição dos requisitos de planos de retirada de emergência: estudo de caso em um centro de pesquisas de uma instituição de ensino superior**. 2013. Dissertação – Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

NBS BUILDING REGULATIONS. **Approved Document B to the Building Regulations: Fire Safety**. 2006, London: Department of Communities and Local Government, 2006.

NEGRISOLO, W. **Arquitetando a segurança contra incêndio**. 2011. Tese – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ONO R. **O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento**. 2010. Tese – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NIST Institute. **A study of simulation in the nightclub Satation in Rhoad Island**. Journal, March/April 2004.

ONO R. **Wayfinding e sintaxe espacial como instrumentos de avaliação de qualidade de projeto do ponto de vista das saídas de emergência em edificações complexas**. III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído e IV Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. Campinas: ANTAC, 2013.

OSARAGI, T. **Modeling od Pedestrian Behavior and Its Applications to Spatial Evacuation**. International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagents Systems, 2004.

RIPLEY, AMANDA. **Impensável: Como e por que as pessoas sobrevivem a desastres**. Editora Globo, Rio de Janeiro, 2008.

SANTA CATARINA; **Corpo de Bombeiros. Normas de segurança contra incêndios do estado de Santa Catarina**. 2 eds. rev. e ampl. Florianópolis: EDEME, 1994.

SCHADSCHNEIDER, A. **Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics – Theory**. 2011

SCHEER, S.; BARANOSKI E. L. **A utilização de simuladores de incêndio como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento de projetos de arquitetura e de prevenção de incêndio**. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 7. Curitiba: CESEC, 2007.

SECRETARIA DA SEGURANÇA PÚBLICA, CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 009/2014 – Sistema de saída de emergência**. Florianópolis, 2014.
 _____ **IN 31/2014 – Plano de Emergência**. Florianópolis, 2014.

SEITO, Alexandre I. et al. **A Segurança Contra Incêndio No Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008.

SILVA, V. P.; VARGAS, M. R.; ONO, R. **Manual de Construção em Aço – Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil (IABr) e Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), 2010.

SIME, J. D. **Crowd psychology and engineering**. Safety Science, vol. 21, novembro de 1995, p. 1-14, 1995.

SOUZA, JOÃO CARLOS. **Prevenção de Acidentes em Multidões através de Controle do Movimento de Pedestres**. In: XXX Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, 2016, Rio de Janeiro – RJ. Anais do XXX ANPET. Rio de Janeiro, RJ: COPPE-Rio, 2016. v.1 p. 198 – 210.

STILL, KEITH. **Crowd Dynamics**, Tese de Doutorado, University of Warwick, 2000.

STOLLARD, P. ABRAHAMS, J. **Fire From First Principles: a design guide to building fire safety**. 3 ed. London: E & FN Spon, 1999.

TEIXEIRA, V. C.; CARDOSO, S. L. M. **Segurança Pública: Incêndio e Pânico em Edificações Urbanas no Brasil**. In: Congresso Científico da Semana Tecnológica – IFSP, 5, 2014, Bragança Paulista. Anais do CONCISTEC'14. São Paulo: copyright by IFSP, 2014.

TEKNOMO, KARDI; GERILLA, GLORIA P. **Sensitivity Analysis and Validation of a Multi-Agents Pedestrian Model** Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (WASTS), Vol. 6, p. 198-213, 2005.

THUNDERHEAD ENGINEERING. **Pathfinder, Users Guide**, 2014.

VALENTIN, M.V. **Saídas de emergência em edifícios escolares**. 2008. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

VALENTIN, M.V.; ONO, R. **Saídas de emergência e comportamento humano: Uma abordagem histórica e o estado atual da arte no Brasil.** Anais NUTAU/USP, 2006.

VENTURA, MAURO. **O espetáculo mais triste da terra: o incêndio do Gran Circo Norte Americano.** Companhia das Letras, São Paulo, 2011.

ZHENG, X.; ZHONG, T.; LIU, M. **Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches.** Building and Environment, v. 44, n. 3, p. 437 – 445, 2009.

ZONA DE RISCO. **Lembrança: incêndio na casa de shows Canecão.** 2013. Disponível em: <<http://zonaderisco.blogspot.com.br/2013/12/um-incendio-destruiu-na-madrugada.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018