

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES PARA ESVAZIAMENTO EMERGENCIAL DE ESPAÇOS QUE REÚNEM GRANDE PÚBLICO: ESTUDO DE CASO NO PARQUE VILA GERMÂNICA, BLUMENAU/SC

João Carlos Souza

Patricia Kuwer

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

RESUMO

Edificações com grandes densidades de usuários, como centros destinados ao lazer festivo, estão sujeitas a riscos de desastres devido a movimentação de pedestres numa evacuação emergencial. O aumento da frequência de ocorrência de acidentes que envolvem danos materiais e imateriais em espaços destinados a multidões, tem provocado um aumento na pesquisa sobre estes eventos e os aspectos que podem influenciar na movimentação de multidões. O estudo dos desastres tem como objetivo auxiliar o planejamento e a execução das operações. Esta pesquisa tem por objetivo analisar as condições para esvaziamento emergencial em espaços destinados à realização de eventos com concentração de grande público flutuante, tanto em situações de normalidade quanto em situações de emergência; bem como da sua correlação com o projeto arquitetônico destes espaços. As simulações foram realizadas no software *PTV Vissim/Viswalk*, que se baseia no modelo de forças sociais da dinâmica de pedestres, capaz de descrever muitos fenômenos observados realisticamente.

ABSTRACT

Buildings with large densities of users, such as centers for festive leisure, are subject to disaster risks due to the movement of pedestrians in an emergency evacuation. The increase in the incidence of accidents involving material and immaterial damages in crowded spaces has led to an increase in the research on these events and the aspects that can influence the movement of crowds. The study of disasters aims to assist the planning and execution of operations. This research aims to analyze the conditions for emergency evacuation in spaces destined to the accomplishment of events with concentration of large floating public, both in situations of normality as in emergency situations; as well as its correlation with the architectural design of these spaces. The simulations were performed in the *Vissim / Viswalk PTV* software, which is based on the social forces model of the pedestrian dynamics, capable of describing many phenomena observed realistically.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, momentos de lazer estão presentes na vida das pessoas. Muitos destes momentos acontecem em eventos esportivos, grandes shows, festas religiosas, etc., sendo caracterizados pela concentração de um grande número de pessoas, criando aglomerações. Estar no meio de uma aglomeração humana é uma das experiências prováveis da vida moderna. A parte negativa das aglomerações, está nos números cada vez maiores de acidentes que envolvem grandes eventos. A tragédia da boate Kiss em 2013, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, com 242 vítimas fatais e 680 feridos, mostra que, mesmo as aglomerações menores, em locais fechados e relativamente controlados, também apresentam grande risco para a integridade de seus ocupantes.

Uma vez iniciado um evento atípico dentro da multidão, é difícil retomar o controle da situação. Planejamento, capacitação de pessoas envolvidas com os eventos e adaptações dos espaços físicos devem seguir rumo a uma arquitetura protetora e inclusiva, a fim de que acidentes, potencialmente graves, não ocorram (MARTINS, PONTES, KARAN E FINCO, 2013). Percebe-se, através dos levantamentos de acidentes ocorridos, que muitos deles acontecem em função de dificuldades de acesso/saída que a arquitetura dos espaços impõe aos usuários, tanto em situações de normalidade, como em situações de pânico com evacuação emergencial.

Dado que experimentos práticos possuem limitações, tais como os elevados custos envolvidos, dificuldades na captação de dados e preocupações éticas e de segurança, as modelagens e simulações computacionais tornam-se mais populares (Shi *et al.*, 2008) e apresentam resultados mais precisos (Leijonmarck e Olergård, 2013). Estão disponíveis no mercado, atualmente, diversos modelos de simulação de movimentação de pedestres, desenvolvidos por meio de modelos matemáticos, de forma que a simulação computacional já é considerada uma ferramenta importante durante a etapa de elaboração de projetos arquitetônicos.

A origem do interesse desta pesquisa foi a necessidade de entendimento dos fluxos de pessoas em espaços destinados à realização de eventos com concentração de grande público flutuante, tanto em situações de normalidade quanto em situações de emergência; bem como da sua correlação com o projeto arquitetônico destes espaços.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico apresenta a sustentação dos pressupostos desta pesquisa por meio de revisão bibliográfica, buscando fundamentar conceitos e aplicações. As abordagens são relacionadas à dinâmica de multidões e às simulações computacionais.

2.1. Planejamento das vias de evacuação

A busca do controle de gastos para a diminuição de custos nas obras, realidade atual no Brasil em muitos casos, pode levar profissionais, arquitetos e engenheiros, a ignorarem itens fundamentais para o sucesso de esvaziamentos emergenciais de locais que atraem grande público. Como resultado, corre-se o risco de ver o número de acidentes aumentado. As normas brasileiras, bem como toda a legislação de apoio, existem para a proteção dos usuários (SEITO, 2008).

2.1.1. Fator Humano

O fator humano é apresentado, já que dele partem conceitos e fundamentos importantes para a definição do espaço ocupado por uma pessoa e irão determinar a segurança na movimentação de multidões. Para isso, foram analisadas as dimensões de algumas pessoas e foram elencadas algumas definições. A largura ombro a ombro e a espessura da parte frontal até a parte dorsal de um indivíduo transformou-se em uma elipse corporal, na qual o eixo maior seria, aproximadamente, 0,60 metro e o eixo menor 0,46 metro. Nessa elipse corporal, que ocupa cerca de 0,276 m², é que reside o sucesso de uma evacuação. É dentro da metragem quadrada ocupada pelo indivíduo que o planejamento deve ser executado (SEITO, 2008).

O comportamento humano procura fazer com que cada indivíduo mantenha a sua área de caminamento e a movimentação das pessoas seja feita sem o contato físico, evitando lesões e pânico. Se a elipse corporal diminuir sua dimensão, inicia-se um processo de contato entre as pessoas, o que poderia gerar pânico. Portanto, o planejamento das rotas de fuga (escadas, rampas, corredores, etc.) deve ser feito respeitando-se o espaço ocupado pela área de um indivíduo (SEITO, 2008).

2.1.2. Densidade de Ocupação e Velocidade

A densidade de ocupação de um indivíduo pode ser calculada através da medição do

comprimento do passo de uma pessoa, bem como da velocidade de caminhada. Esta informação é essencial para que se analise a disponibilidade do espaço na rota de evacuação. A densidade de um local é calculada dividindo-se o número de pessoas que podem ocupar o espaço pela área de evacuação ocupada ou a ser ocupada (SEITO, et al., 2008).

Em geral, o comportamento do movimento de pedestres apresenta evidências de que os pedestres escolhem, normalmente, o caminho mais rápido para o seu destino e não o caminho mais curto. Os pedestres levam em conta desvios bem como o conforto de caminhar minimizando esforços, sendo que as velocidades de marcha entre 1,2 e 1,37 metros por segundo, normalmente, consomem menor energia. Contudo, a velocidade média depende da situação, sexo e idade, objetivo da viagem e condições da saída. Os pedestres também procuram manter uma certa distância de outros pedestres e obstáculos, mas esta distância pode diminuir se for necessário o aumento da velocidade de caminhada bem como se houver aumento da densidade no local (HELBING et. al., 2000).

Em situações de pânico os indivíduos tendem a ficar nervosos e tendem a se movimentar mais rapidamente do que o normal. Podem causar empurrões e estas interações físicas podem provocar incidentes. Nas saídas, onde há formação de gargalos, os congestionamentos aumentam e entupimentos podem ser observados. Nestes casos, pode haver a formação de grandes densidades no local e as interações físicas se somam e podem causar grandes acidentes. Em uma situação assim, o esvaziamento seria ainda mais retardado pela presença de pessoas caídas ou feridas, formando novos obstáculos (HELBING et. al., 2000). Outro comportamento que pode ser observado é a tendência ao comportamento de pastoreio, ou seja, muitas pessoas tendem a fazer o que outras pessoas fazem. Nesta situação, não raro observa-se que saídas alternativas são frequentemente negligenciadas ou não são usadas de forma eficiente em situações de evacuação emergencial. Em densidades muito altas, os pedestres podem empurrar a massa de pessoas para a frente e causar o efeito de propagação de ondas de choque na multidão.

2.2. Tempo de escape de edificações

O tempo de escape é o tempo necessário para que todos os ocupantes de uma edificação consigam atingir um local seguro previamente estabelecido. Características relacionadas à população, tais como, o número de ocupantes, sua distribuição pela edificação, sua condição física, suas reações, seu estado físico e mental e suas habilidades (se é ou não treinado para enfrentar emergências) e o tipo de atividade exercida, além dos aspectos arquitetônicos do local, podem alterar o tempo de escape. Saídas de emergência adequadamente planejadas atenuam os riscos de ocorrência de pânico em situações de emergência, assim como propiciam tempos de escape mais seguros aos usuários dos espaços (SEITO, et al., 2008).

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 caminhamento máximo dos indivíduos até um local exterior seguro. Para a definição das distâncias, a NBR 9077/2001 leva em consideração o tipo de ocupação da edificação, a compartimentação e a resistência da estrutura ao fogo (GILL, et al., 2006).

Deste modo, a análise dos resultados do tempo de evacuação, da densidade e da velocidade dos pedestres tem amplas aplicações e permite a modelagem e o estudo dos fluxos de pessoas.

A partir delas é possível a elaboração de simulações sobre a movimentação de pessoas.

2.3. Modelagem e simulação com humanos virtuais

Com o avanço da tecnologia dos computadores, a modelagem de fluxos de pedestres tem sido amplamente utilizada e considerada como um instrumento adequado para a avaliação de desempenho das construções e da qualidade das instalações para pedestres (D. HELBING, FARKAS, MOLNAR, E VICSEK, 2002; OSARAGI, 2004; SCHADSCHNEIDER et al., 2011; TEKNOMO, 2006). Os modelos de simulação podem ser classificados com base na representação do espaço (contínuo/grade com base/estrutura de rede), propósito (finalidade específica, uso geral) e o nível de detalhe (macroscópica, mesoscópica ou microscópica).

Os simuladores têm como características principais a possibilidade de detectar pontos de estrangulamentos e possíveis obstáculos que podem oferecer potenciais riscos de lentidão na evacuação dos locais. Além disso, utilizam variáveis do comportamento humano que evitam, por exemplo, a colisão entre os indivíduos em uma movimentação normal e obstáculos, a partir de um estudo de pedestres em contra fluxo. A ferramenta utilizada neste estudo baseia-se em análise microscópica para simulação de pedestres e, dentre suas aplicações, encontra-se o plano de evacuação de edifícios e eventos especiais, no qual pode ser estudado: a segurança em locais públicos; a avaliação de medidas estruturais e organizacionais destinadas a reduzir e controlar o comportamento das pessoas em situações de emergência; os perigos potenciais e o planejamento de fluxos de pedestres em edifícios, estádios e outras instalações; a simulação de rotas de saída e cenários de evacuação em edifícios altos e túneis.

A disponibilidade do software com grande confiabilidade dos resultados foi fundamental para a decisão de uso, nesta pesquisa, do software *PTV Vissim/Viswalk*. A PTV Group disponibilizou uma licença acadêmica que viabilizou a utilização de todos os recursos do software. A empresa também estendeu aos pesquisadores um suporte via site e e-mail, além de manuais, o que permitiu a troca de informações e o esclarecimento de dúvidas que surgiram ao longo da pesquisa.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para avaliação das condições de esvaziamento emergencial no objeto de estudo escolhido foi utilizado o simulador computacional com humanos virtuais *PTV Viswalk*. Para a simulação de pedestres, vários requisitos devem ser atendidos, por exemplo, a definição de dados de base diferentes. Nas áreas em que os pedestres devem começar os percursos, deve-se inserir entradas de pedestres e definir as decisões de roteamento, ou seja, as rotas possíveis a serem utilizadas. Com base nas decisões de roteamento, define-se as rotas para pedestres que conduzem por meio de áreas, rampas e escadas para outras decisões de roteamento, em que as rotas terminam. Pode-se adicionar pontos intermediários a áreas, rampas e escadas. Para esta pesquisa, a modelagem foi construída a partir do projeto, em formato digital construído em REVIT (2016), do local escolhido previamente para a pesquisa, o Parque Vila Germânica, em Blumenau, Santa Catarina, local que abriga o evento Oktoberfest.

3.1. Parâmetros das simulações

O *PTV Vissim/Viswalk* possui parâmetros padrão como: o caminho mais curto; a resolução de “10 time *step(s) Sim. Sec.*”, que define que o pedestre dará 10 passos por segundo na simulação; seleção aleatória igual a 42 que proporciona a aleatoriedade de pedestres a cada

simulação; e velocidade máxima de simulação. A medição do tempo de viagem de pedestres é baseada em um ponto inicial (em uma área inicial) e um ponto de destino (em uma área de destino). O tempo de viagem é determinado a partir da entrada na área de início, onde o ponto inicial está localizado, até entrar na área de destino onde o ponto de destino está localizado, incluindo os tempos de espera.

Foram simulados cenários com velocidades diferentes, com o objetivo de verificar o comportamento dos pedestres durante as evacuações, tanto em situação normal, com velocidades de 1,53 m/s, quanto em condições que simulam uma evacuação emergencial, com velocidade de 3,33 m/s.

4. APLICAÇÃO NO ESTUDO DE CASO

O Parque Vila Germânica é apresentado a seguir a partir das características físicas do local, das rotas de fuga adotadas atualmente e das características dos ocupantes durante o evento Oktoberfest. O local foi escolhido para a pesquisa devido às suas características arquitetônicas, do grande público presente e da boa vontade dos organizadores para disponibilizarem documentos, plantas arquitetônicas e projetos de sistemas preventivos de incêndio. Também se levou em conta que incidentes não previstos poderiam ocasionar grandes desastres com muitas vítimas e consideráveis danos materiais. Estes incidentes teriam um grande potencial para gerar pânico na multidão e imprevisíveis consequências trágicas.

4.1. Características físicas do local

O Parque Vila Germânica se divide em Empório Vila Germânica e Centro de Eventos (Figura 1). O primeiro reúne um conjunto de lojas, restaurantes, cafés e choperias. O segundo, com área construída de 26.000 m², sendo 18.360 m² especificamente para eventos, é subdividido em três setores e um mezanino, com as seguintes dimensões:

- a) Setor 1 = 5.000 m² (62,5 m x 80 m);
- b) Setor 2 = 7.260 m² em vão livre (72,6 m x 100 m);
- c) Setor 3 = 5.400 m² em vão livre e 600 m² (60 m x 100 m) de WC e escadas;
- d) Setor Biergarten = 2.293 m² (54 m x 42,4 m).

Além dos pavilhões onde se concentram as grandes atrações do evento, a Oktoberfest também disponibiliza aos participantes uma área coberta com lona, onde é construído o *Biergarten*. A Figura 3 mostra a implantação do complexo.

Nesta estrutura também se encontram localizadas as lojas que compõem o Empório Vila Germânica, constituído por uma área de 1.500 m². A área total computada e utilizada para a realização da simulação computacional do Parque Vila Germânica no pavimento térreo é de 38.900 m². Para a pesquisa, não foram realizadas simulações nos mezaninos.

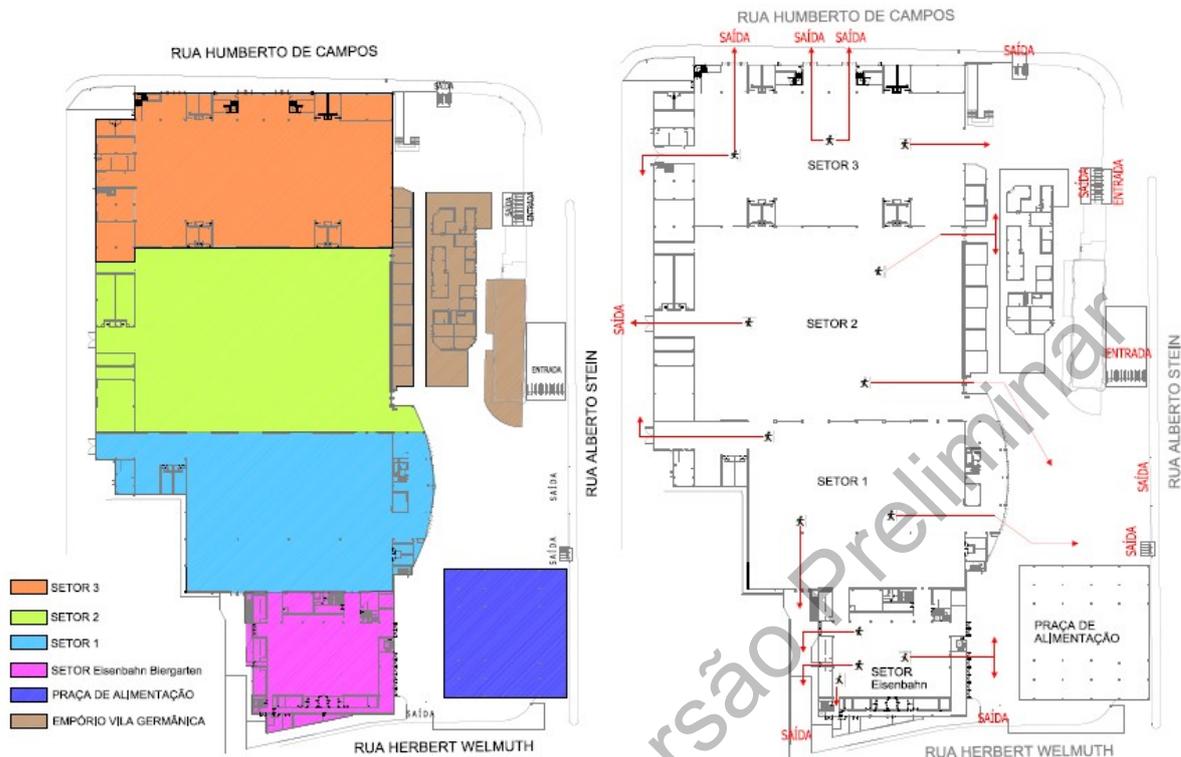


Figura 1: Implantação do Parque

Figura 2: Rotas de fuga do Parque

4.2. Rotas de fuga

As rotas de fuga do Parque Vila Germânica foram observadas no projeto preventivo de incêndio aprovado pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina e no local, a partir da identificação da sinalização de emergência existente. A representação gráfica das rotas de fuga e da sinalização das saídas está apresentada na Figura 2. Para a modelagem das áreas e percursos que devem ser realizados durante a simulação, foram utilizadas as rotas de fuga existentes.

Observa-se que todas as edificações (e setores) possuem pelo menos duas rotas de fuga, em direções distintas e posicionadas de forma equidistante das áreas externas. Os pedestres que se encontram nas áreas internas (setores ou lojas) são orientados a seguir em direção às áreas externas, mais seguras.

4.3. Ocupantes

Foram computados os ocupantes de cada setor, observando-se a capacidade máxima prevista e aprovada pelo Corpo de Bombeiros, que é de 40 mil pessoas ao mesmo tempo. A densidade de todos os setores prevista é de 1 indivíduo por metro quadrado.

A lotação máxima dos setores é descrita a seguir:

- Setor 1 = 5.477 pessoas;
- Setor 2 = 7.266 pessoas;
- Setor 3 = 5.900 pessoas;
- Setor Biergarten = 2.293 pessoas;

O total de pessoas distribuídos nos setores é de 20.936 pessoas. O público restante, que

poderá ser de até 19.064, deve estar distribuído nos demais espaços do Parque Vila Germânica, entre praça de alimentação, áreas externas descobertas, Empório Vila Germânica e restaurantes. Grande parte das pessoas que compõem a multidão é flutuante, visitantes distribuídos entre homens e mulheres de diferentes idades. Observou-se que a lotação máxima, em geral, ocorre nos finais de semana, no período noturno e tem como público mais expressivo, jovens entre 18 e 30 anos. Cerca de 1.000 pessoas são parte das equipes fixas de trabalho e monitoramento do evento. Os ocupantes podem movimentar-se entre os setores livremente.

4.4. Simulação computacional

Foram estudados diferentes cenários e simulações: com população de 40 mil pessoas em condições de esvaziamento emergencial com velocidade de caminhada rápida a 1,53 m/s e também com velocidade de corrida possível em uma situação de pânico a 3,33 m/s. Para as simulações pode-se obter informações referentes às velocidades dos pedestres, distâncias percorridas, tempo total de deslocamento, identificação de áreas de origem e destino, entre outros.

Pode-se também obter informações através dos mapas de densidade, que fornecem dados para análise dos pontos de gargalo, linhas de movimentação, interação entre as pessoas e como elas se comportam no ambiente de evacuação. O esquema de cores de densidade de Weidmann (1974) foi selecionado na configuração do software para geração dos mapas de densidade. Os dados externos são gerados em arquivos do programa PTV que podem ser importados para planilha eletrônica para fazer as leituras e as análises necessárias.

4.4.1 Cenário 1

No cenário 1 foram realizadas duas simulações computacionais utilizando a população máxima prevista no Parque Vila Germânica (40 mil pessoas) e velocidade de 1,53 m/s. Realizou-se análise visual da saída dos ocupantes dos espaços, tanto em 2D quanto em 3D. A primeira simulação é apresentada a seguir e observou-se, logo no início do esvaziamento, a formação de linhas de percursos por auto-organização dos ocupantes, na direção das saídas conforme as rotas de fuga inseridas no modelo.

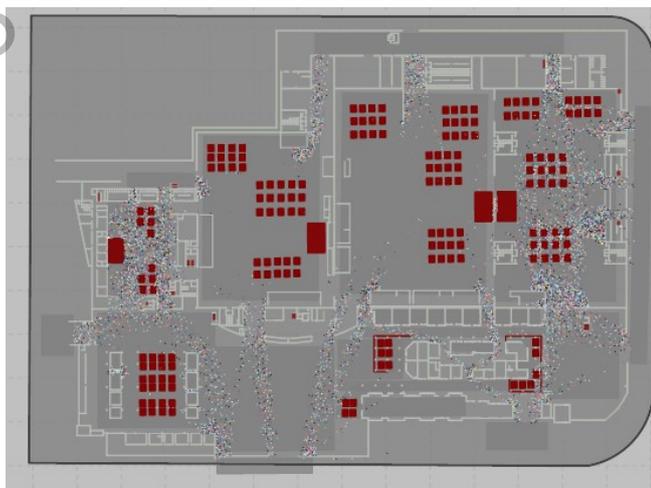


Figura 3: Simulação de esvaziamento com 40 mil pessoas a 1,53 m/s em 67,20s

Junto às saídas dos setores percebe-se a formação de filas e grupos com certo número de

peças aglomeradas próximo das saídas de emergência. No Setor 3, observou-se a formação de arcos de indivíduos, aglomeração e diminuição da velocidade de escoamento junto das saídas, conforme demonstra a Figura 3.

Na Figura 4, aos 237,70 segundos, junto ao principal acesso do parque, mais conhecido pelos visitantes e que serve como acesso de entrada ao evento da Oktoberfest, houve considerável diminuição de velocidade na saída em função da presença de pontos de estrangulamento nas rotas provocado pela arquitetura do local. Vale lembrar que este acesso, durante o evento analisado, contém catracas de controle de acesso de entrada, reversíveis para saída em caso de emergência. O tempo total na primeira simulação do cenário 1 foi de 789,30 segundos, ou seja, pouco mais de 13 minutos.



Figura 4: Formação de arcos de indivíduos junto ao acesso principal do parque

Também foi efetuada a segunda simulação neste cenário para geração de mapas de densidade no esvaziamento. A sequência a seguir, identificada pela Figura 5, mostra as áreas com os percursos mais efetuados pelos ocupantes durante a evacuação aos 60,50 s e aos 300,10 s. As áreas de alta concentração de pessoas são representadas em vermelho, de acordo com o esquema de cores de densidade de Weidmann. Observou-se as maiores concentrações de pessoas junto às saídas de emergência, tanto nas áreas internas dos setores, quanto nas áreas externas do parque, junto aos portões.

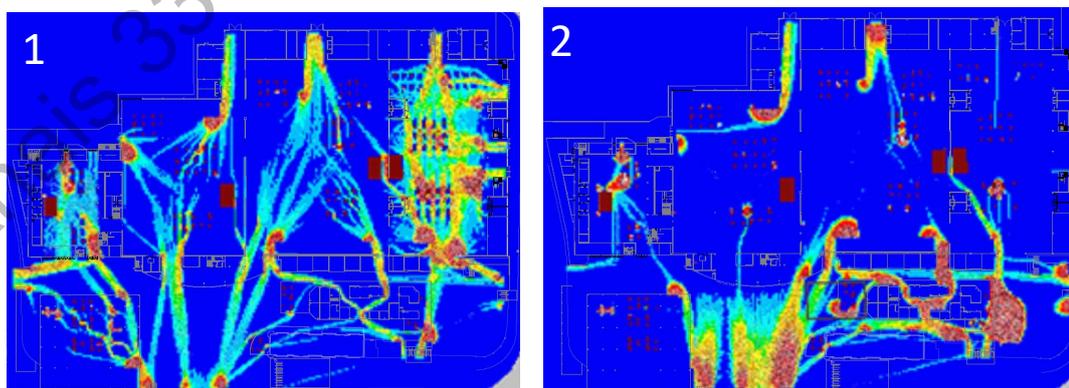


Figura 5: Sequência de mapas de densidade aos 60,50s(1) e 300,10s(2)

Em locais com mudanças de direção e corredores, também houve grande concentração de pessoas. Pode-se visualizar estas concentrações na Figura 5, observando-se o corredor dos setores 1, 3 e Eisenbhan Biergarten, que dão acesso à área externa dos fundos do parque.

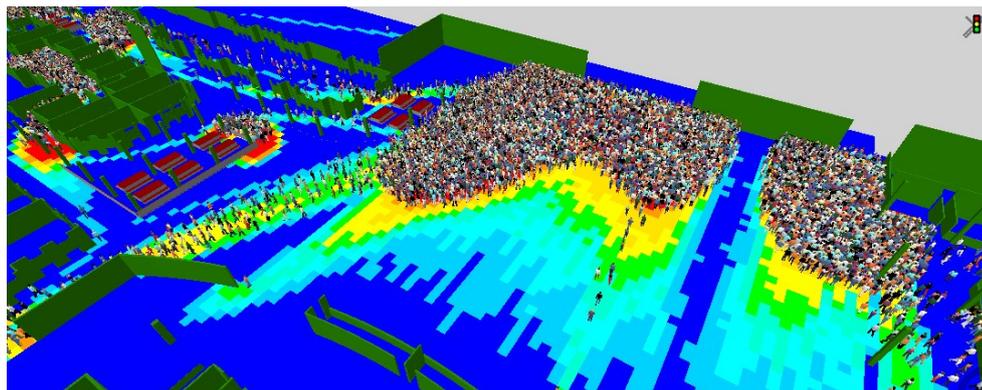


Figura 6: Formação de arcos com aglomeração de pessoas

A Figura 6 demonstra as principais áreas com concentração de pessoas nas áreas junto às saídas de emergência nos setores do parque e também junto às saídas do complexo em espaços abertos em direção às ruas de acesso. Identificou-se que o tempo máximo de deslocamento dentro do modelo foi de 789,30 s por um pedestre com origem no Setor 2 no Parque Vila Germânica. A maior distância percorrida até a saída foi de 301,20 m também por um pedestre com origem no Setor 2.

4.4.2. Cenário 2

Foram realizadas duas simulações com a configuração proposta no cenário 2. O objetivo foi observar uma possível situação de pânico no esvaziamento emergencial. Para esta simulação, utilizou-se 40 mil ocupantes, ou seja, a lotação máxima prevista para o local e uma velocidade dos indivíduos de 3,33 m/s. A esta velocidade, os indivíduos estariam em corrida e não mais em caminhada. Na simulação, mesmo nesta velocidade de corrida, percebe-se que os ocupantes não se tocam. Possivelmente, em uma situação real, em função do grande número de pessoas e velocidade de deslocamento, os indivíduos não conseguiriam executar o percurso de saída sem que houvesse choques entre eles e, desta forma, poderia haver pessoas feridas. Após 1 min e 26 s, conforme demonstra a Figura 7, observou-se a formação de pontos de lentidão na evacuação nas saídas de emergência voltadas à Rua Alberto Stein. Os ocupantes dos setores 2 e 3 dirigem-se em grande número ao acesso principal do parque. Há formação de corredores mais estreitos neste percurso, em razão da localização do Empório Vila Germânica. O tempo transcorrido para o esvaziamento emergencial na primeira simulação do cenário 2 proposto foi de 208,60 s, ou seja, cerca de 3 minutos e 40 segundos.

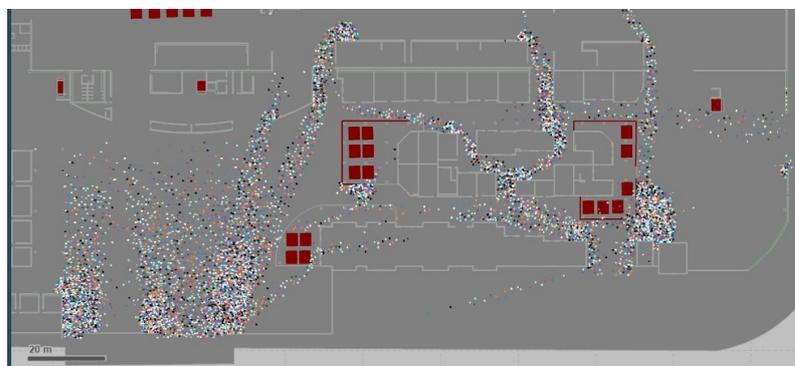


Figura 7: Aglomerações junto às saídas para a Rua Alberto Stein

Uma segunda simulação do cenário 2 foi realizada a fim de se obter os mapas de densidade

com informações referentes às áreas com maior concentração de pessoas. Nesta simulação, observou-se a sequência de imagens, compostas pela Figura 8, aos 35,20s (1) e 90,70s (2).

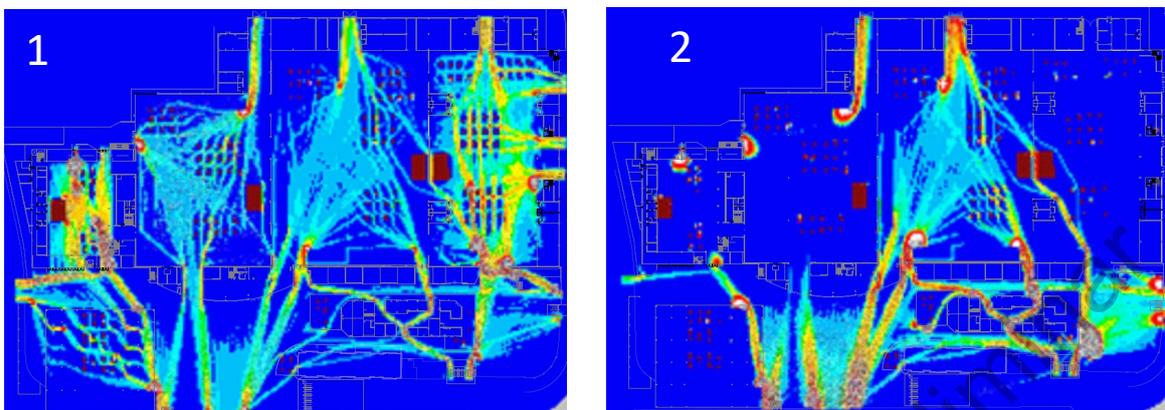


Figura 8: Sequência de imagens na simulação com demonstração de densidade

Observou-se, aos 35,20 s, uma movimentação dos ocupantes mais aleatória e em direção a todas as saídas de emergência, bem como a formação de linhas de percurso dentro das áreas externas do parque, em direção aos portões de saída. Aos 90,70 s observa-se a movimentação de pessoas especialmente nos setores 2 e 3 em direção às saídas, aglomerações junto às portas no setor Biergarten e no setor 1, e uma maior concentração de pessoas em direção aos portões de saída nas áreas externas (Figura 9).

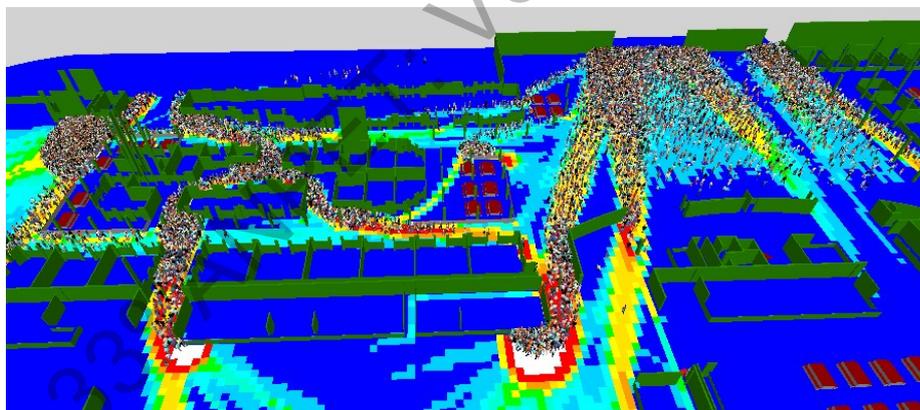


Figura 9: Mapa de densidade aos 90,70 s de simulação no cenário 2

O tempo transcorrido na segunda simulação do cenário 2 foi de 270,10 s, ou seja, cerca de 4 min e 30 s. Identificou-se que o tempo máximo de deslocamento dentro do modelo foi de 208,60 s. A maior distância percorrida dentro do modelo até a saída foi de 224,00 m. A área de origem destes ocupantes também foi o Setor 2 do Parque Vila Germânica.

4.4.3. Resultado das simulações

Os fenômenos observados em todos os cenários demonstram a formação de faixas ou pistas em alguns momentos durante a evacuação emergencial, nas direções das saídas, que consistem no fato de que os pedestres tomam o mesmo percurso na mesma direção, preferindo não realizar ultrapassagens. A formação de faixas maximiza a velocidade média na direção desejada do movimento, sendo isto uma consequência das interações entre os pedestres. Os pedestres se auto organizam, ou seja, tendem a otimizar o seu espaço.

Observou-se também a movimentação entre pedestres em direções opostas, realizando pequenos desvios nos percursos a fim de evitar o choque com os demais ocupantes. Além disso, percebeu-se a ocorrência de oscilação na movimentação de pedestres em gargalos, com mudanças da direção da passagem, fenômeno provocado em razão da diminuição da velocidade de escoamento nestes pontos. Observou-se ainda que, em situação de pânico, as velocidades aumentam e o fenômeno do pastoreio tende a aumentar, ou seja, muitos pedestres tendem a fazer o mesmo percurso que outras pessoas fazem.

Situações de bloqueio de passagem, formado por arcos nas saídas, também foram observados. Entupimentos nos pontos de saída causam significativos atrasos na evacuação das pessoas. A velocidade de saída torna-se menor e as densidades aumentam substancialmente. O possível resultado destes entupimentos poderia representar riscos de acidentes em uma situação real. Quando os arcos se quebram há um fenômeno similar a uma avalanche, em que os pedestres saem com súbito aumento de velocidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos objetivos propostos para esta pesquisa, que analisou as condições de esvaziamento emergencial em locais destinados à realização de eventos que atraem grande público flutuante faz-se importante destacar algumas conclusões:

Na identificação de fundamentos que visam a diminuição da ocorrência de acidentes em locais que reúnem multidões em eventos se faz necessário compreender quais são os aspectos arquitetônicos que podem influenciar na movimentação segura dos indivíduos. Percebeu-se que os estrangulamentos de circulações, por exemplo, fazem com que ocorra aglomeração de pessoas em rotas de fuga, podendo ocasionar acidentes em situações de esvaziamento emergencial.

Sugere-se que a população flutuante do local receba informações relacionadas às saídas emergenciais antes do evento, bem como a inserção de avisos sonoros durante o evento sobre os locais de saída e procedimentos básicos em caso de acidentes, a fim de que o pânico seja evitado e que as pessoas consigam encontrar os pontos de saída alternativos com maior facilidade. É sabido que, quando as pessoas sabem o que devem fazer, o pânico em geral é evitado. Sem pânico, as chances de que todos os usuários consigam esvaziar o local em segurança é muito maior.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Grupo PTV pela licença estudantil concedida do software PTV Viswalk.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Dias, C.; Sarvi, N.; Ejtemai, O.; Burd, M. (2013) *Investigating collective escape behaviours in complex situations*. Safety Science. Volume 60, p. 87-94.
- 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, Ago/2006.
- Haghani, M.; Sarvi, M. (2018) *Crowd behaviour and motion: empirical methods*. Transportation Research Part

- B: Methodological, v.107, p. 253-294.
- Helbing, D.; Buzna, L.; Johansson, A. & Werner, T. – “*Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations, and Design Solutions*”, Transportation Science vol. 39, no. 1, 2005, p. 1-24.
- Helbing, D; Molnar, P. *Social force model for pedestrian dynamics*. Phys. Rev. E, (S.1), v.51, n.5, p.4282-4286, 1995.
- Helbing, D; Farkas, I; Vicsek, T. *Simulation of Pedestrian Crowd in Normal and Evacuation Situations*. In: Lee and Hughes, 2006 R.S.C. Lee, R.L. Hughes *Prediction of human crowd pressures* Accid. Anal. Prev., 38 (4) (2006), pp. 712-722
- Leijonmarck, Eric; Olergård, Thomas. *Modelling of panicking pedestrians during emergency evacuation*. 2013. Thesis (Bachelor of Science) – Royal Institute of Technology, 2013.
- Martins, Pontes, Karan e Finco. *O perigo das multidões*. Revista Época, Globo, fev/ 2013.
- Schadschneider, D. Chowdhury *Modelling of self-driven particles: foraging ants and pedestrians*, Physica A, 372 (1) (2006), pp. 132-141
- Seito, Alexandre ITIU. (COORD.). *A segurança contra incêndio no Brasil*, Projeto Editora, São Paulo, 2008.
- Shiwakoti, Sarvi, Rose. *Modelling pedestrian behaviour under emergency conditions – State-of-the-art and future directions*, Monash University, Australia, 2008.
- Teknomo, Kardi; Gerilla, Gloria P. *Sensitivity Analysis and Validation of a Multi-Agents Pedestrian Model* Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), Vol . 6, pg 198-213, 2005.

João Carlos Souza (joao.carlos@ufsc.br)
Patricia Kuwer (patriciakuver@gmail.com)
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus UFSC – Trindade – PósARQ/CTC - Florianópolis - SC