



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MARIANA LIMA OLIVEIRA MONTENEGRO

ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA POR MEIO DE
SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS -
O caso de projetos de edifícios universitários.

Natal/RN
Maio de 2016

MARIANA LIMA OLIVEIRA MONTENEGRO

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA POR MEIO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS -**

O caso de projetos de edifícios universitários.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na área de projeto, morfologia e conforto no ambiente construído, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dra. Edna Pinto

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Edja Trigueiro

Natal/RN
Maio de 2016

Catálogo da Publicação na Fonte. Universidade Federal do Rio Grande do Norte / Biblioteca Setorial de Arquitetura e Urbanismo.

Montenegro, Mariana Lima Oliveira.

Análise de desempenho das saídas de emergência por meio de simulações computacionais: o caso de projetos de edifícios universitários / Mariana Lima Oliveira Montenegro. – Natal, RN, 2016.
179f. : il.

Orientadora: Edna Pinto.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

1. Projeto arquitetônico – Edifícios universitários – Dissertação.
2. Segurança contra incêndio – Dissertação. 3. Saídas de emergência – Dissertação. 4. Normatização – Dissertação. 5. Simulação computacional – Dissertação. I. Pinto, Edna. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BSE15

CDU 72.012.1

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA POR MEIO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS - O caso de projetos de edifícios universitários.**

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Edna Pinto

Presidente

Prof.^a Dr.^a Rosária Ono

Examinador Externo – FAU-USP

Prof.^a Dr.^a Edja Trigueiro

Examinador Interno - UFRN

Prof.^a Dr.^a Solange Goulart

Examinador Interno - UFRN

Natal, maio de 2016.

“Aprendemos sobre os problemas principalmente quando tentamos resolvê-los”

Bryan Lawson

DEDICATÓRIA

*Aos arquitetos e àqueles que admiram a
profissão e entendem a importância de um
projeto completo em todos os aspectos, inclusive
no da segurança aos usuários de uma edificação.*

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e todos, a Deus, por ter me dado o dom da vida, por abrir portas que permitem meu crescimento pessoal e minha capacitação profissional, sempre demonstrando o seu amor incondicional, me guiando e me dando somente motivos de agradecimento;

Ao meu esposo, Filipe, o meu maior incentivador, que me ajuda todos os dias a seguir confiante. Agradeço o imenso amor demonstrado em todos os momentos dessa trajetória. Sou muito agradecida pelo companheirismo, orgulho transmitido, pelos momentos de descontração e, sobretudo, pela paciência e compreensão;

Aos meus pais, Assis e Maria Lúcia, por serem exemplo de amizade e amparo, demonstrando todo apoio nas horas difíceis e entusiasmo nos momentos de alegria;

Ao meu sogro e sogra, Raimundo e Rosângela, que, com muito esmero, por meio de palavras e gestos, me ajudaram e incentivaram;

Aos meus irmãos, cunhadas e amigos, que, de perto ou de outras cidades, pessoalmente ou por mensagens virtuais, sempre se fizeram presentes. Obrigada pelos momentos alegres compartilhados durante esses anos, onde foi possível desopilar e renovar as forças para continuar.

À minha orientadora, Profa. Edna Pinto, que acreditou e me incentivou no desenvolvimento deste tema, contribuindo com sua experiência e conhecimento técnico científico.

À profa. Edja Trigueiro, que co-orientou a pesquisa e contribuiu para o enriquecimento desta através do seu vasto conhecimento, não só a respeito da Sintaxe Espacial, mas do trabalho como um todo.

À profa. Rosária Ono, que, apesar dos seus inúmeros compromissos em São Paulo, gentilmente cedeu materiais para referência bibliográfica e respondeu a dúvidas por e-mail.

À profa. Solange Goulart, que, juntamente com as professoras já citadas, participou das bancas de Qualificação e Defesa. Agradeço a todas pelo tempo e conhecimento disponibilizados na avaliação deste trabalho e pela contribuição para melhorar o mesmo com sugestões e críticas.

Aos arquitetos da Superintendência de Infraestrutura da UFRN, especialmente ao arquiteto Sileno Cirne, pela atenção nas correspondências por email e na disponibilização das plantas dos projetos necessárias para a pesquisa.

A todos os professores e técnicos administrativos do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFRN, pelos ensinamentos e todo o suporte dado ao longo do curso.

À Fundação CAPES, pelo auxílio financeiro à pesquisa acadêmica.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte, da qual tenho muito orgulho em ser aluna e que, com primor, por oito anos faz parte da minha formação profissional.

RESUMO

Os parâmetros de segurança contra incêndio no Brasil são guiados por uma normalização prescritiva na qual os arquitetos baseiam seus projetos, visando o cumprimento da mesma para posterior aprovação dos órgãos fiscalizadores. A legislação necessita estar em constante revisão e atualização. Em vista à essa afirmação, o objetivo principal deste trabalho é identificar e analisar possíveis lacunas nas prescrições normativas sobre evacuação de incêndio em edificações universitárias, visando contribuir para projetos mais eficazes. A questão problema a ser respondida ao final da pesquisa é se existem divergências e confluências de soluções entre as normas prescritivas sobre evacuação de emergência utilizadas no Rio Grande do Norte, quando comparadas aos resultados obtidos por meio de simulações computacionais. Para tanto, realizou-se, inicialmente, uma coleta de informações a partir de pesquisas bibliográficas e documentais a respeito do tema. Posteriormente, com base em critérios estabelecidos, foram realizadas simulações computacionais para avaliar o desempenho das saídas de emergência nas edificações adaptadas às prescrições. Essas simulações foram executadas por meio de dois *softwares*: o PATHFINDER® (2014), relacionado ao tempo de escape e à movimentação das pessoas durante a fuga; e o DEPTHMAP® (2004), de acordo com a Teoria da Sintaxe Espacial (SE), que diz respeito ao estudo da configuração espacial e da sua relação com o movimento dos usuários e o posicionamento das saídas de emergência nas edificações. Com os resultados das análises, foram identificadas lacunas nos códigos prescritivos, como a respeito do dimensionamento das escadas, do número máximo de ocupantes e da distância máxima percorrida até um local seguro; e pontos eficazes, como a necessidade de escadas enclausuradas para diminuição do tempo máximo de escape. Com as constatações, obteve-se subsídios para discutir os parâmetros existentes e outros que ainda não são contemplados pelas regulamentações de SCI, e as soluções projetuais das edificações estudadas. Espera-se que o trabalho realizado contribua com pesquisas futuras que tratem dos temas abordados ou que visem aprofundar o estudo aqui iniciado.

Palavras-chave: segurança contra incêndio, saídas de emergência, normatização, projeto arquitetônico, simulação computacional.

ABSTRACT

The fire safety parameters in Brazil are driven by prescriptive standards, which function as a basis for architects, whose design aim to the enforcement of such for a subsequent approval from the inspection authorities. The legislation needs to be in a constant review and evaluation. From this statement, the main goal of this work is to identify, in university building projects, potential gaps in the normative prescriptions about fire evacuation which raise intervention and correction proposals to their better effectiveness. The question to be answered at the end of the research is that there are differences and confluences solutions between prescriptive rules on emergency evacuation used in Rio Grande do Norte, when compared to the results obtained through computer simulations. For such, a gathering of information was initially held through a research in literature and documents concerning the matter. Later, based on established criteria, computer simulations were carried out to analyze the normative prescriptions applied to the chosen buildings. The simulations were performed by two software: PATHFINDER® (2014), related to the escape time and to the movement of the people while on the run; and DEPTHMAP® (2004), concerned the study of the spatial setting and its relation to the movement of the users in the buildings, according to the Space Syntax Theory (SS). From the analyzes results, prescriptive codes gaps were identified, such as regarding the design of the stairs, the maximum number of occupants and the maximum distance to safety; and effective points, as the need of enclosed stairs to decrease the maximum exhaust time. With the findings, gave subsidies to discuss the existing parameters and others that are not yet covered by SCI regulations, and the studied buildings design solutions. It is expected that the work will contribute to future research that deals the addressed issues or aimed at further the study here started.

Key words: fire safety, emergency exits, normalization, architectural design, computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Incêndio na Boate Kiss em Santa Maria/RS.....	17
Figura 1.2: Fluxograma do processo da pesquisa.....	31
Figura 2.1: Tabela com a velocidade de movimento de pessoas em diferentes situações	41
Figura 2.2: Velocidades e fluxos médios adotados no Japão	42
Figura 2.3: Quadro apresentado por Rosária Ono com os títulos dos subsistemas dos documentos analisados.....	44
Figura 2.4: Linha do tempo de um caso de incêndio	45
Figura 2.5: Incêndio no Edifício Andraus, 1972	50
Figura 2.6: Incêndio no Edifício Joelma, 1974	50
Figura 3.1: Prédio da Escola de Ciência e Tecnologia.....	57
Figura 3.2: Planta de Locação do Prédio da EC&T.....	58
Figura 3.3: Planta do Subsolo - Prédio da EC&T	58
Figura 3.4: Planta baixa do Térreo - EC&T.....	58
Figura 3.5: Planta Baixa do Primeiro andar - EC&T	59
Figura 3.6: Planta Baixa do Segundo andar - EC&T	59
Figura 3.7: Planta Baixa do Terceiro andar - EC&T.....	59
Figura 3.8: Planta Baixa da cobertura - EC&T.....	60
Figura 3.9: Perspectiva digital do Prédio das Novas Engenharias da UFRN.....	61
Figura 3.10: Obra do Prédio das Novas Engenharias	61
Figura 3.11: Implantação do Prédio das Novas Engenharias	61
Figura 3.12: Planta baixa do Térreo - Novas Engenharias.....	62
Figura 3.13: Planta baixa do 1º andar - Novas Engenharias.....	63
Figura 3.14: Planta baixa do 2º andar - Novas Engenharias.....	63
Figura 3.15: Planta baixa do 3º andar - Novas Engenharias.....	64
Figura 3.16: Foto do prédio da Escola de Enfermagem	65
Figura 3.17: Entrada principal da Escola de Enfermagem.....	65
Figura 3.18: Implantação do Prédio da Escola de Enfermagem.....	65
Figura 3.19: Planta baixa do Térreo - Escola de Enfermagem.....	66
Figura 3.20: Planta baixa do 1º andar - Escola de Enfermagem	66
Figura 3.21: Planta baixa do 2º andar - Escola de Enfermagem	66

Figura 3.22: Planta baixa da cobertura - Escola de Enfermagem.....	67
Figura 4.1: Tabela com os modelos de abandono e destaque para o PATHFINDER.....	71
Figura 4.2: Exemplos de caminhos topológicos	77
Figura 4.3: Etapas de construção de um mapa axial.	80
Figura 4.4: Etapas de construção de um mapa de visibilidade	81
Figura 5.1: Terceiro andar da EC&T - destaque para a sala e trajeto do indivíduo observado	87
Figura 5.2: Térreo da EC&T - destaque para saída escolhida pelo indivíduo.....	87
Figura 5.3: Plantas da EC&T importadas no PATHFINDER	89
Figura 5.4: Modelagem do projeto da EC&T com os ocupantes em forma de cilindros	89
Figura 5.5: Gráfico com o tempo total de retirada - EC&T.....	91
Figura 5.6: Aglomeração dos ocupantes próxima às escadas – EC&T	92
Figura 5.7: Primeiro andar da EC&T com maior aglomeração de pessoas	92
Figura 5.8: Andar térreo da EC&T sem aglomeração de ocupantes	93
Figura 5.9: Momento de abandono do prédio da EC&T no cenário 4 – PATHFINDER.....	96
Figura 5.10: Representação de configurações espaciais com variações de conectividade entre seus ambientes	98
Figura 5.11: Ligação entre os andares da edificação.....	99
Figura 5.12: Mapa axial de conectividade do terceiro andar – EC&T	100
Figura 5.13: Mapa axial de conectividade dos demais andares, com indicação das saídas no térreo – EC&T	100
Figura 5.14: Mapa axial de integração HH com indicação das saídas no térreo - EC&T.....	103
Figura 5.15: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para todo o sistema – EC&T	105
Figura 5.16: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para cada andar – EC&T.....	106
Figura 5.17: Mapa axial de profundidade e níveis do <i>Step Depth</i> – Cenário 1 da EC&T.....	108
Figura 5.18: Mapa axial e níveis do <i>Step Depth</i> – Cenário 2 da EC&T.....	110
Figura 5.19: Mapa de visibilidade e níveis do <i>Visual Step Depth</i> –EC&T	112
Figura 5.20: Mapa axial e níveis do <i>Step Depth</i> – Cenário 4 para a EC&T.....	114
Figura 5.21: Terceiro andar das Novas Engenharias - destaque para a sala e trajeto do indivíduo observado	117
Figura 5.22: Térreo das Novas Engenharias - destaque para saída escolhida pelo indivíduo	118
Figura 5.23: Aglomeração dos ocupantes próxima às escadas – Novas Engenharias	119

Figura 5.24: Gráfico com o tempo total de retirada – Novas Engenharias.....	119
Figura 5.25: Mapa axial de conectividade com indicação das saídas no térreo – Novas Engenharias	122
Figura 5.26: Mapa axial de integração HH com indicação das saídas no térreo - Novas Engenharias	124
Figura 5.27: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para todo o sistema – Novas Engenharias	125
Figura 5.28: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para cada andar – Novas Engenharias	126
Figura 5.29: Mapa axial de profundidade e níveis do <i>Step Depth</i> – Cenário 1 das Novas Engenharias	128
Figura 5.30: Tabela com níveis do <i>Step Depth</i> – Cenário 2 das Novas Engenharias.....	129
Figura 5.31: Setas mostrando a presença de corredores encurralados no Prédio das Novas Engenharias	130
Figura 5.32: Mapa de visibilidade e níveis do <i>Visual Step Depth</i> –Novas Engenharias	131
Figura 5.33: Mapa axial de profundidade e níveis do <i>Step Depth</i> – Cenário 4 das Novas Engenharias	132
Figura 5.34: Segundo Andar da Escola de Enfermagem - destaque para a sala e trajeto do indivíduo observado	135
Figura 5.35: Térreo da Escola de Enfermagem - destaque para saída escolhida pelo indivíduo	135
Figura 5.37: Aglomeração dos ocupantes na saída "Door00" - Cenário 2 do Estudo 3	138
Figura 5.38: Mapa axial de conectividade com indicação das saídas no térreo – Enfermagem	141
Figura 5.39: Mapa axial de Integração com indicação das saídas no térreo – Enfermagem.	142
Figura 5.40: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para todo o sistema – Enfermagem	143
Figura 5.41: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para cada andar – Enfermagem	144
Figura 5.42: Mapa axial de Profundidade – Cenário 1 – Enfermagem.....	145
Figura 5.43: Mapa de visibilidade e níveis do <i>Visual Step Depth</i> – Enfermagem.....	147
Figura 5.44: Mapa axial de Profundidade – Cenário 4 – Enfermagem.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Resumo da Simulação do Estudo 1 – Cenário 1 no PATHFINDER.....	90
Tabela 5.2: Resumo da Simulação do Estudo 1 – Cenário 2 no PATHFINDER.....	94
Tabela 5.3: Resumo da Simulação do Estudo 1 – EC&T – Cenário 3 no PATHFINDER	95
Tabela 5.4: Resumo da Simulação do Estudo 1 – EC&T – Cenário 4 no PATHFINDER	96
Tabela 5.5: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 1 no PATHFINDER.....	118
Tabela 5.6: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 2 no PATHFINDER.....	120
Tabela 5.7: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 3 no PATHFINDER.....	120
Tabela 5.8: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 4 no PATHFINDER.....	121
Tabela 5.9: Resumo da Simulação do Estudo 3 – Cenário 1 no PATHFINDER.....	136
Tabela 5.10: Resumo da Simulação do Estudo 3 – Cenário 2 no PATHFINDER.....	137
Tabela 5.11: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 3 no PATHFINDER.....	138
Tabela 5.12: Resumo da Simulação do Estudo 3 – Cenário 4 no PATHFINDER.....	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Lista dos projetos universitários cedidos pela SIN / UFRN	28
Quadro 5.1: Esquema das análises realizadas para cada Estudo	84
Quadro 5.2: Prédio da EC&T segundo parâmetros de dimensionamento prescritivo	86
Quadro 5.3: Informações para as simulações realizadas - EC&T	90
Quadro 5.4: Descrição qualitativa para valores de correlação	104
Quadro 5.5: Prédio das Novas Engenharias segundo parâmetros de dimensionamento prescritivo	116
Quadro 5.6: Informações para as simulações realizadas – Novas Engenharias	117
Quadro 5.7: Prédio da Escola de enfermagem segundo parâmetros de dimensionamento prescritivo	134
Quadro 5.8: Informações para as simulações realizadas – Escola de Enfermagem	134
Quadro 6.1: Resultados obtidos pelo PATHFINDER para cada Cenário e Estudo	151
Quadro 6.2: Resultados obtidos pelo DEPTHMAP para cada Cenário e Estudo	156
Quadro 6.3: Interação entre parâmetros e resultados das simulações computacionais	164
Quadro 6.4: Divergências e confluências entre simulações e normas	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AsBEA	Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura
ASE	Análise Sintática do Espaço
BCZM	Biblioteca Central Zila Mamede
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CBMRN	Corpo de Bombeiros Militares do Rio Grande do Norte
IFES	Instituições Federais Brasileiras de Ensino Superior
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	Instrução Técnica
NBR	Norma Brasileira
NFPA	National Fire Protection Association
PBD	<i>Performance Based Design</i>
REUNI	Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
RN	Rio Grande do Norte (Estado)
SCI	Segurança Contra Incêndio
SE	Sintaxe Espacial
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIN/UFRN	Superintendência de Infraestrutura da UFRN
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE QUADROS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. QUESTÃO DE PESQUISA	24
1.2. OBJETIVOS	24
Objetivo geral.....	24
Objetivos específicos	24
1.3. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	25
1.4. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	26
Fluxograma.....	30
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	31
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E ARQUITETURA.....	33
2.2. COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO	36
Velocidade e tempo de abandono em uma edificação	39
2.3. SAÍDAS DE EMERGÊNCIA NO PROJETO ARQUITETÔNICO SEGUNDO A NORMALIZAÇÃO.....	48
Breve histórico no Brasil e no estado do Rio Grande do Norte.....	48
A normalização e seu caráter prescritivo	51
3. SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES UNIVERSITÁRIAS.....	55
3.1. A ESCOLHA DOS EDIFÍCIOS	56
3.2. DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....	56
Estudo 1 (Prédio da Escola de Ciência e Tecnologia – EC&T).....	56
Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias)	60

Estudo 3 (Prédio da Escola de Enfermagem)	64
4. MÉTODOS DE ANÁLISE	68
4.1. ANÁLISE NORMATIVA.....	68
4.2. ANÁLISE COM OS SOFTWARES.....	69
Análise com o PATHFINDER: Tempo e Movimento.....	71
Análise com o DEPTHMAP: a Sintaxe Espacial como recurso de investigação ..	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	84
5.1. ESTUDO 1 (Prédio da EC&T)	85
Análise Normativa da edificação	85
Simulações do edifício 1 (Escola de Ciência e Tecnologia) com o PATHFINDER.....	88
Simulações do edifício 1 (Escola de Ciência e Tecnologia) com o DEPTHMAP.....	97
5.2. ESTUDO 2 (Prédio das Novas Engenharias)	115
Análise Normativa da edificação	115
Simulações do edifício 2 (Novas Engenharias) com o PATHFINDER	116
Simulações do edifício 2 (Novas Engenharias) com o DEPTHMAP.....	121
5.3. ESTUDO 3 (Prédio da Escola de Enfermagem)	133
Análise Normativa da edificação	133
Simulações do edifício 3 com o PATHFINDER	134
Simulações do edifício 3 com o DEPTHMAP.....	140
6. CONCLUSÕES: INTERAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E A NORMALIZAÇÃO	150
6.1. RESULTADOS DO PATHFINDER.....	150
6.2. RESULTADOS DO DEPTHMAP	155
6.3. INTERAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE SAÍDA DE EMERGÊNCIA E RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	162
6.4. INTERAÇÃO DOS RESULTADOS COM A QUESTÃO DE PESQUISA	165
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	167
REFERÊNCIAS.....	170
ANEXOS	178

1. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio, no Brasil é um tema que vem sendo abordado com ênfase especialmente quando ocorrem grandes catástrofes com dificuldade no salvamento das pessoas envolvidas, como em 2013 na Boate Kiss em Santa Maria, no Rio Grande do Sul (Figura 1.1). Diversos foram os motivos que, em conjunto, contribuíram para a tragédia, sendo a tentativa de abandonar a edificação, o maior deles.

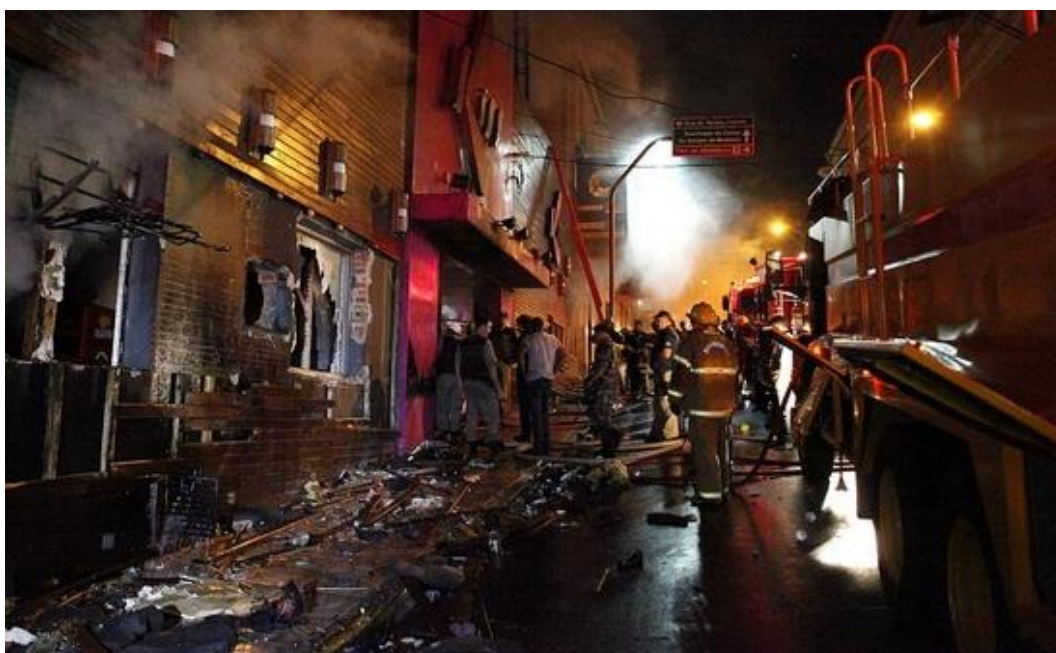


Figura 1.1: Incêndio na Boate Kiss em Santa Maria/RS
Fonte: <http://veja.abril.com.br/blog/ricardo-setti/tag/boate-kiss/>

Quando se trata da vida das pessoas no local do 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.

A segurança contra incêndio (SCI) dos edifícios é composta por um conjunto de ações coerentes. Deve existir o perfeito entendimento dos objetivos de SCI e dos requisitos funcionais a serem atendidos pelos edifícios (BERTO, 1991). Esse conjunto de ações, de acordo com Antônio Fernando Berto (1991), compõe o denominado Sistema Global de Segurança Contra Incêndio e estabelecê-lo é de responsabilidade de diversos profissionais, com destaque ao arquiteto, uma vez que este sistema possui a capacidade de interagir com grande número de aspectos associados ao projeto arquitetônico, conforme veremos mais adiante.

A proteção contra incêndio pode ser organizada de acordo com algumas medidas estratégicas principais: evitar o início do fogo (prevenção da ignição); evitar o crescimento do fogo e sua propagação; ter sistema de detecção e de alarme; ter sistema de combate a incêndio; ter compartimentação para o confinamento do fogo; e ter rotas de saída para a desocupação da edificação com segurança. Pode-se ver nessas medidas as interfaces que o projeto arquitetônico tem com os demais projetos (BRENTANO, 2010).

Para que, de fato, um prédio esteja seguro contra incêndio, o Sistema Global 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 de proteção incorporadas no processo produtivo do edifício, como abordadas por BERTO (1991). Dentre os diversos aspectos elencados pelo autor a serem levados em consideração para a SCI, destacam-se, aqui, 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, escadas); aberturas do edifício (janelas); dimensionamento dos elementos estruturais; compartimentação (vertical e horizontal); materiais de acabamento e revestimento entre outros.

Segundo BERTO (1991), todos os elementos do Sistema Global de SCI têm como objetivo comum a restrição do risco à vida humana, porém a evacuação segura é o único elemento que tem somente este objetivo. As rotas, que devem garantir o abandono seguro do edifício pelos seus ocupantes, são uma medida estabelecida pela arquitetura, assim como boa parte dos elementos que compõem a proteção passiva. Elas são determinadas quando se criam as circulações no interior do edifício e devem ser projetadas de maneira favorável ao escape. As saídas de emergência têm relevante importância em projetos arquitetônicos devido à sua configuração se encontrar diretamente relacionada a concepção dos mesmos.

A Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura – AsBEA – (2012) igualmente afirma que as chamadas medidas de proteção passiva são as de maior peso em um projeto de

arquitetura, pois consistem na configuração de espaços, na escolha dos sistemas construtivos e na especificação de materiais mais seguros. Elas devem ser o elemento de maior confiabilidade dentro de um sistema, uma vez que, se em caso de incêndio, a incolumidade dos usuários do edifício estaria em risco. Isso significa que, caso outros elementos não cumpram seus propósitos, a evacuação segura não poderá falhar. Berto (1991, p. 277) afirma, portanto, que: “trata-se desta forma, do elemento mais importante e mais diretamente associado à segurança da vida humana, em caso de incêndio”. Contudo, é frequente a inadequação no tratamento deste requisito, como aponta Rosária Ono (2013):

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 (ONO, 2013, p. 1677).

Associada à evacuação e às rotas de saída, há a acessibilidade. Esta, é “a possibilidade e a condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaços, [...] etc.” (BRENTANO, 2010, p.160), e deve existir no acesso à construção e na locomoção pelo seu interior. Todos os edifícios devem ser dotados de rotas e acessos adequados, a partir de qualquer pavimento, até que se atinja um local completamente livre dos efeitos do incêndio. A proteção passiva, que possui estreita relação com essa acessibilidade, deve ser resolvida integralmente no projeto arquitetônico, estando diretamente associada à distribuição dos espaços e à circulação horizontal e vertical.

A relação entre os espaços de uma edificação e a acessibilidade que lhe deve ser intrínseca pode ser explicada pela Teoria da Lógica Social do Espaço ou Teoria da Sintaxe Espacial¹, proposta por Bill Hillier e colegas da *The Bartlett School of Graduate Studies, University College London*, de Londres, nos anos 1970. A sua criação derivou da constatação de Bill Hillier e Julianne Hanson de que as teorias em arquitetura eram muito normativas e pouco analíticas (HILLIER e HANSON, 1997). No lugar de postular uma fórmula e tentar encaixá-la em edifícios e cidades, a ideia dos estudiosos da área, é a de que se deve estudar o

¹ Lógica Social do Espaço, Análise sintática do espaço e Sintaxe Espacial se referem à mesma base teórica e são utilizadas neste trabalho como expressões sinônimas.

fenômeno à exaustão, e procurar encontrar propriedades gerais das relações espaciais a ele associados (MEDEIROS, 2013a).

A teoria entende a arquitetura e áreas urbanas sob o ponto de vista de suas configurações² e o espaço é entendido como “sistema³ de barreiras e permeabilidades, isto é, de áreas acessíveis e não acessíveis ao nosso movimento” (HOLANDA, 2003, p. 1). Dependendo de como um espaço se configura, ele facilita, dificulta ou até mesmo impede rotas.

As premissas da Análise Sintática do Espaço (ASE) possuem estreita relação com segurança contra incêndio, uma vez que a configuração espacial, ou seja, a maneira pela qual as partes do todo (sistema predial) se relacionam entre si, deve sempre favorecer o movimento e a orientação de uma pessoa em momento de escape.

A teoria defende que o estudo de como se configura um espaço requer não somente a investigação da forma espacial por meio de seus atributos geométricos e físicos, mas principalmente, sua articulação interpartes. A investigação das associações entre as partes de um todo, pode revelar novas interpretações sobre o sistema predial, trazendo informações a respeito da relação da população e o uso dos ambientes, a segregação ou integração desses espaços e a distribuição de seus usos pela edificação. A despeito disso:

Arquitetos, urbanistas e planejadores, ao se debruçarem sobre o espaço, muitas vezes não percebem que das formas que conceberam surge uma série de relações complexas associando os artefatos (aquilo feito com propósito ou criado intencionalmente pelo homem). Tanto os objetos físicos quanto estas relações são produtos da concepção do espaço e apresentam propriedades estreitamente associadas ao seu funcionamento (MEDEIROS et. al., 2011, p. 42)

Edificações de grande porte projetadas e construídas nos últimos anos, vêm respeitando, em sua maioria, as normas de segurança mínimas para proteção contra incêndio. Esse é o caso das Instituições Federais Brasileiras de Ensino Superior (IFES) que, por aderirem ao programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI)⁴, foram favorecidas pelo momento econômico e político e contempladas com maiores verbas voltadas à educação e, conseqüentemente, ao crescimento da sua infraestrutura.

² Configuração é entendida como a forma de articulação ou arranjo das estruturas em um dado sistema

³ Um sistema significa um todo integrado cujas propriedades essenciais surgem das relações entre suas partes

⁴ O Reuni foi instituído pelo Decreto nº 6.096, de 24 de abril de 2007, e é uma das ações que integram o Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE). Para maiores informações, cf. <<http://reuni.mec.gov.br/o-que-e-o-reuni>>.

Este crescimento, além de motivar a contratação e o aperfeiçoamento dos recursos humanos, implicou em uma ampliação do espaço físico, adaptação da estrutura existente (salas de aula, laboratórios, instalações administrativas, unidades de serviços e bibliotecas) e em tornar a instituição mais acessível e segura. A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) é uma dessas Instituições, e seus projetos arquitetônicos procuram ser fiéis às prescrições das normas de segurança contra incêndio, como informado por Nilberto Gomes⁵, um dos arquitetos da Superintendência de Infraestrutura da UFRN (SIN / UFRN).

Sobre seguir as normas prescritivas de SCI, Yehuda Kalay (1999 apud WAGNER, 2008) afirma que um projeto elaborado por meio do método prescritivo pode não possuir a eficácia dos sistemas de segurança contra incêndio com relação ao desempenho. Ou seja, os resultados fornecidos pelas normas são aplicados à edificação acatando as indicações propostas sem que seja comprovada a sua eficácia. É certo que muito do que se aplica das normas é eficaz; eficácia que vem sendo complementada por métodos baseados em desempenho:

Hoje, a SCI no mundo encontra-se em uma fase de pesquisas envolvendo métodos de avaliações cada vez mais tecnológicos sobre os efeitos de incêndio nos materiais e sobre o comportamento humano. A utilização de programas computacionais e ensaios de laboratório buscam alternativas e soluções técnicas para garantia de segurança da vida humana e dos bens patrimoniais e sociais que envolvem os incêndios. O panorama atual leva ao prevaletimento das normas baseadas em desempenho sobre as prescritivas (SILVA, 2015, p. 77).

No contexto de uma regulamentação baseada em desempenho, o modelamento de incêndios e do movimento de escape para os usuários em situações de emergência é que determinará os critérios de aceitação a serem seguidos. Esse projeto de segurança contra incêndios baseado no desempenho é conhecido como *Performance Based Design* – PBD, que será abordado no item 2.3 do presente trabalho.

Existem muitas ferramentas que auxiliam o projetista na avaliação da segurança contra incêndio de um edifício e na determinação do nível de performance do projeto. As mais antigas são as correlações, equações e metodologias compiladas pela *Society of Fire Protection Engineers* no *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. O “handbook” é disponibilizado pela *National Fire Protection Association* (NFPA) e muitas das metodologias apresentadas por ele servem para cálculos a respeito do incêndio (AVERILL, 1998). Outras ferramentas, mais

⁵ Durante uma conversa informal em 14 de abril de 2015.

sofisticadas, são os “modelos de incêndio”, modelos computacionais que podem prever condições do fogo nos mais variados ambientes.

O aumento da capacidade de processamento dos computadores tem permitido a aplicação de modelos matemáticos à análise de fenômenos complexos como o incêndio. O desenvolvimento do incêndio em edificações pode ser modelado por meio de *softwares* específicos, tais como: FDS, SMARTFIRE e CFAST (CAMPOS et. al., 2011)⁶; os parâmetros de desempenho para saídas de emergência podem ser validados com o uso da simulação computacional de fuga e alguns exemplos desses *softwares* são: SIMULEX, EXODUS, PATHFINDER e EVAC ⁷.

A presença cada vez mais difundida dos métodos computacionais de simulação em países como Estados Unidos, Canadá, Japão e Austrália contrasta com uma realidade ainda incipiente no Brasil, onde o acompanhamento das pesquisas desenvolvidas sobre a utilização de parâmetros de projeção com base no desempenho das edificações frente às situações de incêndio ainda é insuficiente para ser introduzida em seu mercado profissional e acadêmico (SILVA, 2015). Por esse motivo é que no Brasil, como afirma SILVA (2014, p.107), “antes de se avançar para modelos computacionais, devem-se conhecer os métodos prescritivos e os conceitos sobre o tema”.

As regulamentações prescritivas devem ser melhor utilizadas pelos projetistas e a aplicação de seus quesitos ainda será algo corriqueiro nos próximos anos. Diante disto, as técnicas de desempenho continuam a possuir um relacionamento mais estreito apenas com estudos de universidades e institutos de pesquisa, sem atingir num período próximo o conhecimento dos profissionais no mercado de trabalho, que projetam, na maioria das vezes, diante de um tempo limitado, visando a praticidade e velocidade da projeção. Por enquanto, a utilização das simulações computacionais no Brasil não faz parte do processo de projeto nos escritórios de arquitetura e se apresenta mais dominante em pesquisas que propõem medidas de segurança contra incêndio mais próximas da realidade.

Dentro das regulamentações de segurança contra incêndio utilizadas no estado do Rio Grande do Norte, existe a NBR 9077:2001 e o Código de Segurança e Prevenção contra

⁶ *Softwares* desenvolvidos por diferentes empresas com propósitos variados; entre eles, avaliar o comportamento do fogo

⁷ Idem; entre os objetivos desses programas computacionais está a simulação de situações de fuga.

Incêndio e Pânico do estado do Rio Grande do Norte com a Instrução Técnica 11:2014 - Saídas de emergência, prevista pela Portaria Nº 191/2013, que abordam alguns itens relacionados ao escape dos usuários de uma edificação em caso de incêndio, elencados, para o presente trabalho, como fundamentais a serem verificados quanto à sua eficácia. São eles: distância máxima a ser percorrida até um local seguro; e número e dimensionamento das saídas de emergência (em função da população calculada por meio da área em planta da edificação).

Outros tópicos que também foram considerados nas análises de eficiência do presente trabalho e que, assim como os citados anteriormente, sua avaliação é de muita importância são: posicionamento das escadas (mencionado nas normas apenas em termos da distância de, no mínimo, 10 metros entre duas escadas – exceto quando o corredor de acesso possuir comprimento inferior a este valor – na IT 11:2014; ou das distâncias máximas a serem percorridas, nas duas normas); tempo total de fuga para um usuário na edificação; e aspectos de movimentação do ocupante. Diferentemente dos primeiros, esses não são contemplados pelas normas em questão, ou são de maneira superficial.

Para que cada uma dessas premissas possa ser verificada quanto a sua eficácia ou influência na segurança do usuário, simulações computacionais podem ser utilizadas como contribuição a esse fim. Com base nesses resultados, é possível fornecer subsídios para discutir e otimizar as normas vigentes. O presente trabalho defende a imprescindível investigação dessas regulamentações, a fim de que elas estejam condizentes com a realidade. Ademais, atesta-se para que se comprove sua eficiência ou para contestá-las apoiando, ainda mais, a inovação e a utilização de normas baseadas em desempenho.

Em resumo, diante da deficiência com que o assunto de segurança contra incêndio é abordado no Brasil; pela urgente constatação da eficácia e aperfeiçoamento das normas (apenas atualizadas, em sua maioria, após tragédias); pelos seus parâmetros que, mesmo sendo estabelecidos empiricamente, são utilizados pelos profissionais de projeto e, assim, continuarão devido à sua simplicidade e praticidade; pelo uso frequente dos textos normativos das saídas de emergência nos projetos arquitetônicos; e, principalmente, pela segurança dos ocupantes em uma edificação, fato que não pode ser secundarizado nos projetos de arquitetura, justifica-se o presente trabalho.

1.1. QUESTÃO DE PESQUISA

A questão que norteou o desenvolvimento da presente pesquisa foi se “existem divergências e confluências entre as soluções propostas pelos códigos prescritivos sobre evacuação de emergência utilizados no Rio Grande do Norte e os resultados obtidos por meio de simulações computacionais”. O questionamento originou-se a partir da ideia de que mesmo aplicando-se todos os quesitos das normas – que tratam das saídas de emergência – em um projeto arquitetônico, eles ainda seriam ineficazes para a segurança dos usuários.

O foco do presente trabalho consistiu em verificar se essas divergências existem quando são realizadas simulações computacionais para análise do tempo de escape e do posicionamento das saídas de emergência. Assim, surgiram os objetivos apresentados seguir.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Identificar e analisar possíveis lacunas nas prescrições normativas sobre evacuação de incêndio por meio de edificações universitárias, visando contribuir para projetos mais eficazes.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Compreender como as normas, adotadas pelo Corpo de Bombeiros do Rio Grande do Norte que tratam do projeto de saídas de emergência, se manifestam em projetos arquitetônicos de prédios universitários;
- b) Avaliar as soluções projetuais conformadas por essas normas, no que se refere às saídas de emergência e ao local seguro para os usuários (meio externo ou local protegido), quando comparadas aos resultados obtidos por meio de simulações computacionais (através de um *software* à luz da Teoria da Lógica Social do Espaço e de um *software* de simulação de fuga);
- c) Fornecer subsídios para discutir as normas vigentes no que tange às soluções para saídas de emergência, visando contribuir para a maior eficácia de projetos arquitetônicos.

1.3. DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Dentro de uma vasta área de investigação e de produção textual, como se caracteriza a Segurança Contra Incêndio, o tema dessa pesquisa se insere na análise do projeto arquitetônico. A interface entre a segurança contra incêndio e o projeto de arquitetura tem como foco as saídas de emergência, face à estreita relação deste item entre ambas as áreas.

O abandono de uma edificação em incêndio é o principal modo e o mais eficiente para se salvar vidas. Porém, muitos fatores dificultam esse processo como, por exemplo, a fumaça produzida pela queima de materiais no incêndio ou o aumento da temperatura. Neste estudo, tais aspectos não foram considerados. Essa pesquisa não objetiva discutir a natureza do fogo, seu comportamento e como o mesmo influencia a evacuação das pessoas nas edificações, mas os pontos das normas de segurança contra incêndio que fazem indicações às rotas e às saídas de emergência e como a configuração espacial de cada prédio se relaciona com simulações do comportamento dos usuários na fuga em caso de sinistro.

Foi utilizado um padrão de velocidade média em situação de incêndio e de tempo máximo de fuga, fornecidos por estudos estrangeiros e não com base em dados da população brasileira. A velocidade de caminamento foi padronizada em 1,3 m/s (TANAKA, 2002 e MUROSAKI, 1993 apud ONO, 2010), e o tempo máximo de fuga em 2,5 minutos (NBS *Building Regulations*, 2006), escolhidos devido ao fato de não existir no Brasil cálculos para os mesmos. O capítulo 2 aborda a respeito desses valores utilizados.

Muitos estudos, atualmente, se relacionam aos eventos, às precauções e às tendências da área de segurança contra incêndio, como exemplos relatados por ONO (2010). Dentre essas pesquisas, há as relacionadas aos simuladores de comportamento, discutindo-se a adequabilidade das fontes de dados utilizadas como parâmetros de movimento de pessoas. Esses modelos de simulação pretendem se aproximar da realidade, porém, ignoram a técnica conhecida como *wayfinding*, que tenta representar, de forma mais aproximada, a maneira como as pessoas encontram o caminho no interior de um edifício. No presente trabalho não foi levada em consideração a complexidade de comportamentos, variável não contemplada pelos programas computacionais utilizados.

Não foi aprofundado o assunto a respeito do *performance-based design* (PBD), brevemente comentado apenas devido a sua ligação aos modelos computacionais de SCI, escolhidos como ferramenta no desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, o recorte para a realização da pesquisa ateu-se a prédios universitários; contudo, as análises podem ser repetidas posteriormente em diversos outros tipos de edificações.

1.4. METODOLOGIA DE TRABALHO

Os procedimentos técnicos a serem utilizados fazem a pesquisa se classificar como experimental, a qual tem como finalidade testar as hipóteses do pesquisador, como um agente ativo e não um observador passivo (GIL, 2012).

Três aspectos de grande importância a serem analisados no trabalho são: o movimento e o tempo de escape dos ocupantes e a inteligibilidade nos sistemas prediais, visando o alcance às saídas de emergência e, conseqüentemente, analisando o posicionamento das mesmas. A metodologia adotada serviu para o estudo de tais aspectos, uma vez que avaliou a acessibilidade, a presença e potencial de pessoas e a influência da configuração espacial em cada edificação.

O primeiro procedimento adotado foi a coleta de informações a partir das pesquisas bibliográfica e documental. Realizou-se um estudo a respeito do tema para o conhecimento e análise das principais produções elaboradas até o período de desenvolvimento do trabalho.

As regulamentações para dimensionamento de saídas de emergência vigentes no Brasil apresentam diferenças nos critérios adotados nos âmbitos federal e estadual. Com o intuito de também observar, ao final do trabalho, possíveis diferenças entre as regulamentações mais utilizadas no estado do Rio Grande do Norte, optou-se pelas prescrições utilizadas pelo Corpo de Bombeiros Militares do Rio Grande do Norte: a NBR 9077:2001 da ABNT e o Código de Segurança e Prevenção contra Incêndio e Pânico do Estado do Rio Grande do Norte com a Instrução Técnica 11:2014 - Saídas de emergência, prevista pela Portaria Nº 191/2013.

De acordo com a metodologia da pesquisa foram realizadas as seguintes etapas: a) formulação do problema; b) operacionalização das variáveis; c) definição do plano

experimental; d) determinação dos sujeitos; e) determinação do ambiente; f) coleta de dados, g) análise e interpretação dos dados; e h) apresentação das conclusões (GIL, 2002, p.93).

O método científico escolhido para ser utilizado foi o método hipotético-dedutivo, o qual, definido por Karl Popper, pode ser explicado a partir do seguinte esquema: Problema – Hipóteses – Testagem – Análise dos resultados – Refutação ou Corroboração (LAKATOS; MARCONI, 2003). Essa sequência está de acordo com a apresentada para o tipo de pesquisa. Após a primeira etapa, o surgimento de um problema que desencadeia todo o estudo, uma hipótese é elaborada com base nesse problema, servindo de guia ao pesquisador. Essa hipótese deve ser passível de teste, o qual, no método hipotético-dedutivo, consiste em tentativas de eliminação de erros. 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 à realidade, ele tem que ser falseável; na medida em que não é falseável, não se refere à realidade”. De acordo com Eva Maria Lakatos e Marina de Andrade Marconi (2003, p. 98), “um dos meios de teste, que não é o único, é a observação e experimentação”.

Formulado o problema, o plano experimental para a presente pesquisa é a síntese das variáveis a serem utilizadas: “as soluções de segurança contra incêndio no que tange as saídas de emergências”, presentes ou não nas prescrições normativas, citadas na introdução deste trabalho: distância máxima a ser percorrida até um local seguro; número e dimensionamento das saídas de emergência; posicionamento das escadas; tempo total de fuga para um usuário na edificação; e aspectos de movimentação do ocupante.

Essas variáveis foram testadas e manipuladas a partir da sua aplicação em edifícios universitários. O plano de experimento consistiu na técnica de se utilizar programas computacionais para avaliar a sua eficácia, ou não, a partir do desempenho das saídas de emergência das edificações em hipotéticas situações de evacuação em caso de incêndio.

Para levantamento técnico das edificações, foram analisados projetos arquitetônicos de três prédios da UFRN, nos quais foi considerado o maior número de usuários, preferencialmente de acordo com o *layout* apresentado em planta, ou, na ausência deste, de acordo com o cálculo que se encontra nas normas analisadas. Como a análise foi realizada com base nos desenhos técnicos, mais especificamente nas plantas-baixas de cada edificação, ela não depende dos prédios já estarem construídos. Foi necessário o uso do programa AUTOCAD® (2013), uma vez que os projetos se encontram em arquivos virtuais.

O corpo de profissionais da Superintendência de Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (SIN/UFRN) é o responsável pela elaboração dos projetos de arquitetura da instituição. Por meio de listas de perguntas enviadas por e-mail aos arquitetos, foram obtidos arquivos de projeto de 14 edificações.

Devido a existência de um grande número de prédios pertencentes à UFRN em todo o Estado, foi necessário estabelecer critérios de escolha para selecionar aqueles que seriam utilizados nas simulações; são eles:

- 1) **Adaptação frente às normas de segurança contra incêndio:** como informado, pelo arquiteto Nilberto Gomes da SIN/UFRN, todos os projetos fornecidos encontram-se em conformidade às normas de SCI e deu-se preferência àqueles que seguem as mais atuais.
- 2) **Ano de construção da edificação:** foi dada preferência a edifícios mais recentes.
- 3) **Nível de complexidade que o edifício apresenta em relação a seu programa de necessidades e a distribuição dos ambientes em plantas:** maior complexidade possível.
- 4) **Número total de usuários da edificação:** A estimativa para o número máximo de pessoas em cada edificação é uma característica que também eleva o grau de complexidade do projeto de segurança.

Esses critérios juntamente com outras informações a respeito das edificações, estão apresentados no Quadro 1.1. Nele estão identificadas em destaque os edifícios selecionados.

EDIFICAÇÃO	CAMPUS	ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA	Nº DE PAV.	ANO	Nº DE USUÁRIOS
Centro de Pesquisa do Instituto de Neurociências	Macaíba	13.340,99 m ²	4	2014	1.670
Setor de Aulas V	Natal	3.855,00 m ²	1	2013	1.511
Ampliação do dep. de Fisioterapia	Natal	1.298 m ²	3	2012	334
Lab. de Metrologia e Microscopia do Centro Tecnológico	Natal	1.169,75m ²	4	2012	161
Superintendência de Infraestrutura	Natal	1.441,57 m ²	3	2012	243
Serviço de Psicologia aplicada	Natal	723,50 m ²	1	2011	63
Escola de Enfermagem	Natal	4.062,21 m ²	3	2010	1.210
Anexo de ampliação da BCZM	Natal	3.649,17 m ²	3	2010	333
Lab. estudos da língua espanhola	Currais Novos	341.52m ²	2	2010	220
Novas Engenharias	Natal	8.036,24 m ²	4	2010	2.090
Lab. de Geofísica aplicada	Natal	765,42 m ²	3	2009	72
Escola de Ciência e Tecnologia	Natal	6.841,40 m ²	4	2009	2.438
Bloco I do setor II	Natal	2.596,73 m ²	4	2008	870
Dep. de Nutrição e Saúde coletiva	Natal	3.654,23 m ²	2	2008	797

Quadro 1.1: Lista dos projetos universitários cedidos pela SIN / UFRN

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: elaborado pela autora, 2015

Dentre os projetos disponibilizados, e após a ponderação da importância dos critérios em cada um, foram escolhidos para análise: os prédios das Novas Engenharias; Escola de Ciência e Tecnologia; e Escola de Enfermagem. Seus usos possuem semelhanças, fato que congrega importância aos dados adquiridos, uma vez que a comparação entre os resultados das análises de cada um é facilitada. Apesar do uso semelhante do universo de pesquisa, suas configurações espaciais são diferenciadas, propiciando diferentes tipos de simulações e análises.

As variáveis (soluções de segurança contra incêndio no que tange as saídas de emergências) a serem analisadas nas edificações escolhidas, foram testadas e manipuladas a partir de um método composto por dois procedimentos: o de análise dos parâmetros normativos adotados; e o computacional – através de dois *softwares*, o PATHFINDER® (2014) e o DEPTHMAP® (2004) – detalhados no capítulo 4.

Realizou-se, em cada edificação escolhida, uma análise normativa, por meio de tabelas contendo as prescrições normativas atendidas em cada uma. Após isso, foram realizadas simulações computacionais, no PATHFINDER® (2014) e com o DEPTHMAP® (2004). A partir da análise normativa foram estabelecidos os cenários de simulação a serem realizados pelos *softwares*.

Os critérios utilizados em cada programa, que suscitaram análises mais aprofundadas a respeito do movimento e da inteligibilidade nas edificações, foram: o tempo de desocupação total da edificação a partir dos diferentes cenários, envolvendo situações de incêndio e sua relação com a presença de pessoas nas saídas de emergência para o PATHFINDER; e o posicionamento dessas saídas no edifício quanto às distâncias topológicas dos ambientes até o local seguro, para o DEPTHMAP.

O PATHFINDER, simula o comportamento de fuga das pessoas, determina o tempo total de evacuação e indica pontos de aglomeração na edificação. Para que os resultados quanto ao tempo de escape em suas simulações pudessem ter um parâmetro de comparação com as normas, foi utilizado o tempo máximo de abandono total estipulado pela NBS *Building Regulations* (2006), de 2,5 minutos.

Já O DEPTHMAP analisa a configuração espacial e como essa se relaciona com a tendência de movimento, fluxo dos ocupantes pelo espaço e, conseqüentemente, com a inteligibilidade do sistema predial. A análise da sintaxe espacial visa investigar aspectos sociais

relacionados à configuração, de modo a identificar a acessibilidade a partir de qualquer ambiente até o alcance de uma saída de emergência ou um local seguro, analisando, por conseguinte, os posicionamentos dessas saídas.

Os dados coletados, a partir das simulações no PATHFINDER e no DEPTHMAP, foram confrontados entre si e com o que está indicado nas prescrições normativas, as quais trazem orientações para os projetos de saídas de emergência. Contatou-se a presença de divergências e confluências entre os resultados e o que propõe os preceitos normativos, como suposto na questão problema da pesquisa.

1.4.1. Fluxograma

A Figura 1.3 mostra um fluxograma com o processo de desenvolvimento da pesquisa. Cada fase da metodologia é representada pelas diferentes cores.

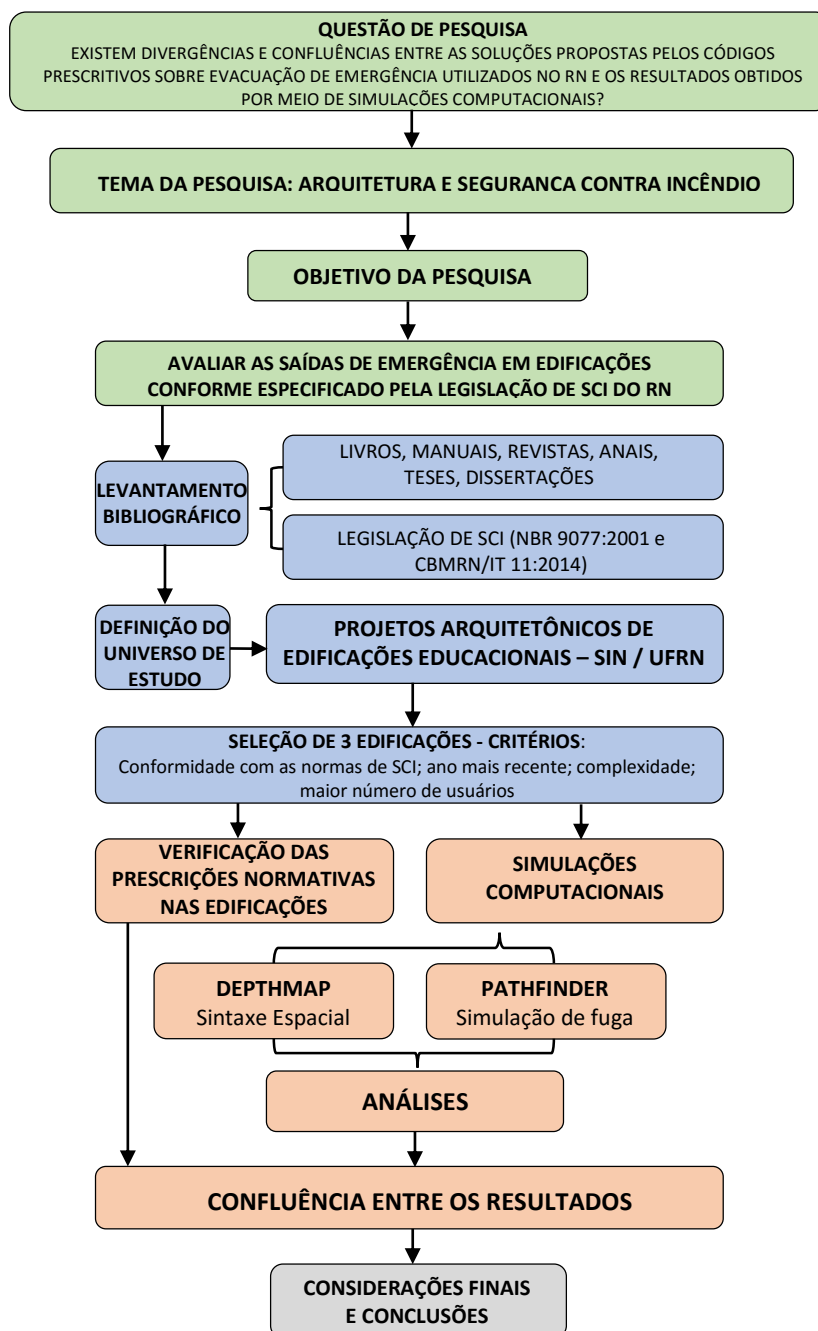


Figura 1.2: Fluxograma do processo da pesquisa

Nota: Elaborado pela autora, 2015

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho se estrutura em sete capítulos, assim constituídos:

Capítulo 1. Introdução ao tema na perspectiva do referencial teórico e de sua importância. Definição dos objetivos, das delimitações e da metodologia.

Capítulo 2. Revisão bibliográfica sobre o papel das saídas de emergência em uma edificação, a sua importância e como devem ser pensadas. Comenta-se sobre a relação da

segurança contra incêndio com os projetos de arquitetura. É feita uma contextualização sobre o comportamento humano e sua importância nas análises de situações de incêndios com comentários a respeito da velocidade de caminamento e do tempo de escape para uma pessoa no interior de uma edificação em caso de incêndio. Faz-se um breve histórico sobre a normatização para as saídas de emergência, com destaque para a NBR 9077:2001 e o Código de Segurança e Prevenção contra Incêndio e Pânico do Estado do Rio Grande do Norte, discutindo-se, por fim, seu caráter prescritivo.

Capítulo 3. Sobre saídas de emergência em projetos de edificações universitárias; particularidades dos projetos para edifícios universitários, seus usos, seus programas, sua população entre outras características. É dada a descrição de cada projeto arquitetônico selecionado, com apresentação das características configuracionais, empregando fotografias e as plantas-baixas de cada uma.

Capítulo 4. Métodos de análise - O capítulo inicia com a apresentação a respeito do primeiro tipo de análise, a normativa. Posteriormente, é feita a introdução do segundo tipo de análise, a que envolve a utilização de *softwares*. Comenta-se a importância do uso de simulações computacionais. São apresentados os procedimentos metodológicos a serem utilizados em cada uma das ferramentas de análise (PATHFINDER® e DEPTHMAP®), com explicações sobre o funcionamento de cada programa.

Capítulo 5. Resultados e discussões - Apresentação das análises a partir dos códigos prescritivos – NBR 9077:2001 e IT 11:2014 do Código de Segurança e Prevenção contra Incêndio e Pânico do Estado do Rio Grande do Norte – e dos resultados das simulações computacionais com os *softwares* PATHFINDER® e DEPTHMAP® em cada uma das edificações. Os resultados são acompanhados de interpretações e comentários a seu respeito.

Capítulo 6. São apresentadas considerações a respeito da interação entre os resultados – apresentados no capítulo anterior – com: o proposto pela regulamentação vigente; os parâmetros de saídas de emergência – presentes ou não nos códigos prescritivos; e a questão de pesquisa.

Capítulo 7. Apresenta-se aqui as conclusões diante do desenvolvimento do trabalho, com comentários a respeito das contribuições da pesquisa ao estudo da normatização de SCI e do uso dos dois *softwares* de simulação computacional, além das indicações para pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E ARQUITETURA

Arquitetos e projetistas são de fundamental importância no tocante à segurança contra incêndio das edificações, como explicitado na introdução do presente trabalho, a saber:

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 de exposição a que estará submetida a edificação na fase de uso. As soluções de projeto determinarão a qualidade do produto final e, consequentemente, condicionarão o nível de desempenho e segurança da edificação e o de satisfação dos usuários finais (ONO et al. 2008, p. 123).

A motivação, desses profissionais, em seguir parâmetros de qualidade nos projetos é voltada para aspectos relacionados a agradar o cliente diante da estética, do custo, do conforto e da funcionalidade da edificação. Porém, grande parte deles não dá a mesma importância aos aspectos relacionados com a segurança e com a acessibilidade da edificação. A segurança contra incêndio ainda é um assunto de conhecimento superficial para arquitetos e projetistas no geral, mas sua importância se destaca como um dos catorze 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 “edifícios” (ONO et al. 2008, p. 123). De acordo com essa norma, tais requisitos de desempenho devem ser incorporados nos projetos para garantir as condições de habitabilidade do ambiente construído, como segurança, higiene, conforto e economia (ONO, 2010).

No que diz respeito à realidade do Brasil frente a esses requisitos de desempenho, em 2013 entrou em vigor a NBR 15575:2013 – Desempenho de Edificações Habitacionais –, após um período de revisão solicitado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC – à ABNT, com a participação das Comissões de Estudos de normas técnicas no Brasil, conforme consta no guia orientativo, “Desempenho de Edificações Habitacionais” (2013). Ao prezar por divulgar e reforçar a importância da difusão de melhores práticas para a qualidade da habitação no Brasil, a norma foi concretizada, apoiando-se na realidade de que a sociedade demanda por procedimentos mais eficazes e conta com aparatos tecnológicos para atender à muitas de suas necessidades.

Mesmo que, no presente trabalho, essa norma não seja utilizada (pois está voltada para edificações habitacionais), salienta-se aqui o seu caráter de desempenho, uma vez que fornece um conjunto de critérios estabelecidos para uma edificação, com base em requisitos do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes. Destaca-se a importância que os projetistas devem dar a qualidade de uma edificação como um todo, distribuindo o foco igualmente entre as características e atribuições de uma edificação.

Essa norma brasileira teve como base modelos internacionais de normalização de desempenho e cada uma de suas partes foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança: desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação; à habitabilidade: estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil; e à sustentabilidade: durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental (CBIC, 2013). A segurança contra incêndio está entre os vários quesitos que o arquiteto, projetando uma nova edificação, tem que cumprir:

Há toda uma série de outros objetivos (estética, funcional, tecnológica e econômica) que também devem ser satisfeitas, e se o projeto é para ser bem-sucedido, estas devem ser integradas em um todo coerente durante o processo de projeto. É de responsabilidade do arquiteto garantir que os objetivos da segurança contra incêndio estão integrados com os objetivos mais gerais do projeto arquitetônico (STOLLARD; ABRAHAMS, 1999, p.10)⁸.

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, como um dos seus objetivos. Nessa norma, estão definidas as etapas de execução dessa atividade técnica, em que passando por elas, o profissional deve ter a sua atividade permeada por coleta de dados, programa de necessidades e estudo de viabilidade para chegar ao projeto para execução.

Para Bryan Lawson (2010, p. 55), 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 solução surgem juntos”. Cabe ao projetista o uso da criatividade e a contínua busca de conhecimento sobre o problema do projeto para propor

⁸ Adaptado do original: “ There are a whole series of other objectives (aesthetic, functional, technological and economic) which must also be satisfied, and if the design is to be successful, these must be integrated into a coherent whole during the design process. It is the architect’s responsibility to ensure that the objectives of fire safety are integrated with the more general objectives of architectural design”.

soluções adequadas a fim de se atingir a completa qualidade do mesmo. Seguir a NBR 13532 e demais normas da ABNT faz parte do processo e os regulamentos e a legislação se juntam aos questionamentos feitos pelo projetista quanto ao seu produto final e traduzem a complexidade do mesmo. Para projetar é necessário que se pense em área, terreno, características geográficas, requisitos normativos e legais, uso, economia, estrutura, características dos usuários do edifício, funcionalidade, segurança, estética entre outros (SILVA, 2015). 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, p.33).

De acordo com Ono (2013, p.1678), “a sociedade está cada vez mais exigente sob todos os aspectos, sendo que o fator ‘segurança’, tanto no dia-a-dia como numa situação atípica (incêndio e outros fenômenos naturais ou antrópicos), está sendo projetado para um patamar superior de qualidade”. Ter conhecimento a respeito do fenômeno do incêndio, constante dentro desse fator de segurança, e o que é necessário para um bom projeto de acordo com o mesmo é quesito importante na formação do arquiteto, principalmente quando este, no mercado de trabalho, se envolver com a concepção, atualização, análise e outros tipos de manuseio dos projetos de arquitetura.

Walter Negrisolo (2011, p.35) traz em sua tese de doutorado um capítulo dedicado a mostrar a situação do ensino de segurança contra incêndio nos cursos de arquitetura e urbanismo do Brasil. O resultado confirmou que a realidade da graduação acadêmica quanto ao assunto é ainda deficiente. Ele não é desenvolvido de forma sedimentada; não há um foco na maioria das universidades, pois muitos enxergam o tema como subproduto de “projeto” e outros de “instalações prediais”. Essa é a realidade encontrada, os alunos de graduação dos cursos de arquitetura do Brasil saem para o mercado de trabalho sem a base necessária para o conhecimento da segurança contra incêndio aplicado à concepção de projetos.

Analizando as grades curriculares de alguns cursos de engenharia e arquitetura no Brasil, nota-se que o tema de segurança contra incêndios não é aplicado como disciplina obrigatória. Esta característica faz com que profissionais da área tomem conhecimento específico de sua aplicação somente após a formação, onde a necessidade de liberação de certos empreendimentos exige que um sistema básico de prevenção contra incêndios seja aprovado junto aos órgãos competentes. Este fator reforça ainda mais o panorama da segurança contra

incêndios, que não se apresenta incorporada à cultura técnica e aos valores sociais e culturais brasileiros. (CAMPOS, 2004 apud WAGNER, 2008, p.69).

Sob a mesma ótica, Sérgio Scheer e Emerson Luiz Baranoski (2007) afirmam que 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 sistemas de detecção, alarme e outros, que podem muitas vezes encarecer a obra. “É fundamental que o arquiteto saiba pensar o projeto do edifício para que ele funcione bem não só em situações cotidianas, mas também no caso de emergências” (SILVA et al., 2010, p.22).

Esse, por um lado, é o quadro que se apresenta durante os anos. Por outro, é certo também que diante dos últimos incidentes de incêndio ocorridos no país e de outros acontecimentos similares pelo mundo, nasce a “cultura da prevenção”, que cai no conhecimento da sociedade e faz aumentar na mesma o interesse e cuidado relativos às questões de segurança.

2.2. COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

Em uma emergência, ocorrem diversas situações que influenciam o comportamento das pessoas envolvidas. Em casos de incêndio, a presença de chamas, fumaça, gases tóxicos e o aumento das temperaturas são fenômenos que contribuem para uma instabilidade emocional (VALENTIN; ONO, 2006). O comportamento humano é uma variável que pode influenciar um processo de abandono, afetando a velocidade das pessoas e o tempo de resposta ao alarme. Conhecer a população de um edifício, aqueles que realmente farão o uso da edificação, é de extrema importância na definição de um projeto, pois as características físicas e psicológicas desses usuários e todas as demais que envolvem o prédio em si, promovem uma interação que determinará a complexidade de uma situação de incêndio.

A segurança dos usuários que ocupam a edificação é o principal objetivo da SCl e, para que ela seja eficaz, devem existir condições seguras, voltadas principalmente para a proteção passiva, que conta com as rotas de fuga por onde as pessoas irão abandonar a edificação. Mas, para que haja uma evacuação segura e satisfatória, além das proteções passivas e ativas, faz-

se necessário conhecer o comportamento e o movimento das pessoas nessas situações (VALENTIN; ONO, 2006).

Esse comportamento e o movimento variam de acordo com a influência que as pessoas envolvidas em um evento de incêndio recebem de fatores que as tornam, mais ou menos, suscetíveis aos seus efeitos: estado de saúde, mobilidade, velocidade, estado de atenção enquanto situados na edificação e tempo total de escape. Somados a eles, encontra-se a influência também exercida pela configuração espacial, ou seja, pela disposição dos espaços na edificação. HILLIER (1996) afirma que essa configuração pode trazer restrições na experiência espacial a partir do momento que encoraja ou impede aspectos da atividade humana por meio da cognição espacial e do subsequente comportamento nestes espaços.

Ono (2013) aborda algumas teorias que tratam da locomoção e percepção de um usuário em um edifício, especialmente em situações de emergência como incêndio. Para tal, são mencionados autores que trabalham com a Psicologia ambiental, fazendo referência a área do *wayfinding* e à Sintaxe Espacial, que ajudam a fundamentar conceitos e direcionar o seu estudo.

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 tem 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).

A autora faz uma aproximação da cognição ambiental com a sintaxe espacial, destacando como compreender a relação entre a forma do mundo físico e a sua representação mental pelos usuários. Para ser inteligível, uma estrutura espacial também precisa ser permeável, e STAMPS (2003, 2005a, 2005b apud ONO, 2013, p. 1680) com a sua teoria da “permeabilidade”, afirma que o ambiente influencia a segurança quando limita a percepção ou o movimento. Hillier (1996) propôs parâmetros para prever a precisão da representação mental das pessoas, com um conceito difundido na área de estudo como “inteligibilidade”. Esta, é a propriedade de um espaço que permite ao observador compreendê-lo de tal forma que seja capaz de se encontrar ou seguir seu caminho (BAFNA, 2003 apud ONO, 2013). O princípio pode

implicar facilidades ou dificuldades na orientação e localização dos indivíduos a percorrerem os espaços. Quanto melhor se apreende todo o sistema em sua totalidade, mais inteligível ele é.

Contudo, o fenômeno do incêndio pode contribuir para que as pessoas apresentem comportamentos denominados não adaptativos, mesmo que, na maioria das vezes, estas apresentem um comportamento dentro dos padrões normais. Durante uma situação de emergência, podem surgir alguns fenômenos que contribuam para que um indivíduo passe a ter uma resposta comportamental não adaptativa, que envolve esforços exagerados induzidos pelo medo. 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 o escoamento das pessoas (VALENTIN, 2008). As adversidades do comportamento humano são um grande influenciador na segurança em uma situação de incêndio, porém, nenhuma das normas, códigos ou guias de segurança contra incêndio do Brasil as levam em consideração.

Nos Estados Unidos, no início do século XX, iniciaram-se os estudos em relação ao comportamento humano em situação 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. Nesse país, no início dos anos 1980, o governo 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 a sua decisão de movimento entre o tempo de reconhecimento do fenômeno que ocorre ou de um alarme e o tempo de resposta, e esta decisão se torna muito mais complexa do que em uma situação cotidiana. Diante de uma emergência, qualquer pessoa, independente da sua experiência anterior, idade ou sexo, terá aumento do nível de estresse, o que não é visto como algo ruim, mas necessário para motivar reação e ação. Como afirmam Marcos Valentin e Rosária Ono (2006, p.36), “a tomada de decisão mediante o estresse é frequentemente caracterizada pelo estreitamento das opções. Por este motivo, o treinamento constante de abandono torna-se extremamente importante”, fato que não costuma ocorrer com frequência no Brasil.

Para os ocupantes das edificações, as saídas conhecidas são mais procuradas do que rotas de fuga não familiares, e a sinalização é menos importante que a regularidade do uso; logo, os treinamentos de abandono de área devem condicionar os usuários a proceder conforme o plano de abandono e seguir por rotas seguras. A familiaridade com os caminhos a percorrer pode reduzir o tempo de pré-movimento (ARAUJO, 2008, p.99).

O comportamento é algo que não se pode prever com precisão. Por isso, o treinamento de abandono de um local é de extrema importância e já foi o grande responsável para que pessoas conseguissem buscar as saídas seguras existentes. Medidas devem ser tomadas para que esse treinamento de abandono de área seja mais preciso, tanto para as ações das brigadas de incêndio como para os usuários das edificações:

Enfatiza-se a necessidade de melhor conhecimento do comportamento humano com relação a situações de incêndios, condições edíficas, familiaridade com o 'layout' e tecnologias de segurança contra incêndio atuais. Além disso: as doenças e síndromes, e os fatores psicológicos e emocionais diante dessas situações adversas (ARAUJO, 2008, p.93).

É normal e frequente que, diante de um incêndio, haja uma tensão nervosa ou estresse, mas não uma reação de medo que foge ao controle racional, o pânico. Esse conceito ainda é muito confundido com comportamento de fuga e embora esteja presente nas regulamentações e no pensamento da sociedade com a ideia de que as pessoas terão esse tipo de comportamento, principalmente devido ao alarde feito pelas fortes cenas na mídia, ele é extremamente raro em incêndio (PROULX, 2002 apud VALENTIN; ONO, 2006). O que de fato acontece é que:

Normalmente, as pessoas demoram a reagir diante de uma situação de incêndio, como se estivessem paralisadas nos primeiros minutos, não acreditando que estejam sendo envolvidas numa situação de risco grave. Um dos fatores cruciais é a informação disponível associada ao tempo, pelo recebimento tardio do aviso de incêndio, quando as situações de fogo e fumaça estão mais severas, para se buscar uma resposta. [...] as situações que podem dificultar o controle emocional advêm da demora da disponibilidade de informações sobre o que está acontecendo, qual a severidade do evento, atraso na divulgação de um incêndio e como proceder e dispor de saídas protegidas (ARAUJO, 2008, p.95).

2.2.1. Velocidade e tempo de abandono em uma edificação

A segurança das pessoas durante um incêndio em uma edificação encontra-se estreitamente relacionada ao escape para um local seguro, o qual é influenciado pelo tempo de abandono. 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 a população de um edifício, devem ser consideradas as variações presentes em cada caso, pois todo 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.

Esse tempo está interligado à velocidade de escoamento da população para a desocupação de uma edificação por ocasião de um incêndio. Esta velocidade é um valor recomendado por norma ou legislação, porém apenas: “através da capacidade de passagem de pessoas por unidade de tempo numa unidade de passagem, de acordo com a parte constituinte da rota de saída”, como relatado por Telmo Brentano (2010, p. 183). “A largura é uma função do coeficiente de densidade ocupacional, expresso em pessoas/m², parâmetro necessário para se determinar a população da edificação que deve transitar pelas rotas de saída”. Porém, continua o autor:

[...] 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).

Existe uma gama de estudos nacionais e internacionais a respeito dos cálculos para a velocidade de evacuação dos ocupantes de uma edificação e o seu tempo total de abandono, apresentados por VALENTIN (2008), ONO (2010) e BRENTANO (2010), por exemplo. Esses dois aspectos podem mudar de acordo com características próprias de cada prédio e de cada tipo de ocupante, variando também diante da situação de incêndio. Muitas são as variáveis envolvidas que dificultam a estimativa da velocidade de deslocamento para prever o tempo de escape em uma situação de incêndio, como: as distâncias a serem percorridas, as condições físicas e de mobilidade das pessoas envolvidas, as larguras das rotas de saída, a fumaça, a iluminação de emergência, os possíveis congestionamentos em portas, corredores ou escadas, as quedas em pontos de confluência de fluxos de pessoas, etc. Mesmo assim, durante o processo de projeto, caso o projetista queira se utilizar desse tempo de abandono como uma orientação, no Brasil, não há norma que o apresente.

A NBR 14.423: 1999, NBR 15.200: 2004 e a IT 08:2004 advertem que as edificações sejam projetadas para resistir ao fogo durante um tempo mínimo de 2 horas sem entrar em colapso estrutural. Isto permite dizer que o tempo máximo de saída dos ocupantes de uma edificação

nunca deve ser próximo a este valor. Quanto à velocidade de deslocamento, vários estudiosos a calcularam para diferentes situações. ONO (2010) apresenta e comenta sobre os resultados obtidos por alguns deles⁹. Aqui, ressaltamos as pesquisas de TANAKA (2002) e MUROSAKI (1993), uma vez que ambas possuem tabelas contendo o resumo dos seus resultados, facilitando a consulta direta para aqueles que desejam utilizar os dados fornecidos.

TANAKA (2002) apresenta parâmetros de velocidade de pessoas em várias situações, ressaltando que essas velocidades são individuais, isto é, sem influência de aglomerados, congestionamentos, esperas, etc. (Figura 2.1). Da tabela destaca-se a velocidade de caminhada encontrada para o jovem estudante universitário, de 1,5 m/s, e do pedestre “padrão” de 1,3 m/s.

Método de deslocamento	Perfil do Indivíduo	Velocidade (m/s)
Andar	Pessoa que anda devagar	1,0
	Jovem estudante universitário	1,5
	Pedestre “padrão”	1,3
	Idosos	0,8
	Marcha militar	2,0
	Movimento em grupo (<1,5 pessoas/m ²)	1,0
	Água até os joelhos	0,7
	Água até a cintura	0,3
Correr	Recorde mundial de atletismo	10,0
	Jogador de beisebol	8,0
	Maratonista	5,4
	Pequena corrida	3,0
Rastejar	Com joelhos e mãos	0,4
	Com pés e mãos	0,5
Nadar	Recorde de Natação	1,7

Figura 2.1: Tabela com a velocidade de movimento de pessoas em diferentes situações

Fonte: Tanaka (2002, p. 320 apud ONO, 2010, p. 79)

Por sua vez, o segundo autor faz uma síntese dos dados que prevaleciam nos métodos de cálculo japoneses até a década de 1990 (Figura 2.2). Destacam-se a velocidade horizontal definida para as pessoas com familiaridade com o ambiente, de 1,3 m/s, e das salas de escritórios e escolas, também de 1,3 m/s.

⁹ Trabalhos apontados por ONO (2010): PREDTECHENSKII E MILINSKII (1978), TANAKA (2002), MUROSAKI (1993), TOGAWA (1995) E PAULS (1980).

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 pessoas sem familiaridade com o ambiente	1,0	0,5	1,5	1,3
	C	Para pessoas 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			

Figura 2.2: Velocidades e fluxos médios adotados no Japão

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

Por fim, BRENTANO (2010) apresenta dados, a respeito da velocidade de deslocamento, obtidos por MALHOTRA (1988). Os valores encontrados são baseados em estudos feitos na Inglaterra, sobre a movimentação de pessoas em acessos, corredores e estações de metrô. Os tempos médios para deslocamento são:

- 30 m/min (0,5 m/s), num caminhar rápido e em boas condições de saúde, de mobilidade e com espaço livre à frente;
- 20 m/min (0,3 m/s), num caminhar normal;
- 10 m/min (0,16 m/s), num caminhar em espaços congestionados;
- 5 m/min (0,08 m/s), para o deslocamento de pessoas incapacitadas de caminhar.

Para BRENTANO (2010), na elaboração de projetos é necessário ter parâmetros mínimos, e apesar de afirmar sobre a dificuldade em determinar com exatidão o tempo máximo de desocupação de uma edificação numa situação de incêndio, o autor recomenda, em seu livro, os valores de 20 m/min (0,3 m/s) para trajetos horizontais e 5 m/min (0,08 m/s) para trajetos em escadas. Ele afirma que são valores “extremamente conservadores” (BRENTANO, 2010, p. 183), considerando que exista entre os ocupantes da edificação pessoas idosas, deficientes, com mobilidade reduzida e crianças.

Mesmo que os dados colhidos para alcançar os valores apresentados nas pesquisas anteriores não correspondam a informações brasileiras, ainda sim é pertinente se utilizar dessas velocidades para estudos no país. Isso se justifica uma vez que há, no Brasil, a

necessidade de aprofundar as pesquisas na área, já que não são encontrados, na literatura, parâmetros correspondentes desenvolvidos a partir de dados brasileiros.

Portanto, apesar da velocidade de caminhamento sofrer forte influência da densidade, do tipo de emergência, dos perfis de cada usuário, do ambiente em que se encontram, entre tantas outras variáveis, para o presente trabalho se faz necessário estabelecer um padrão de velocidade para as simulações a serem realizadas mais adiante. Uma vez que os prédios analisados são universitários, grande parte da população tem familiaridade com as edificações e são jovens não portadores de deficiências locomotoras, optou-se por padronizar a velocidade em 1,3 m/s, com base nos estudos apresentados.

Já o cálculo para o tempo total de abandono pode ser realizado com base em diretrizes de desempenho para uma determinada edificação, contando com todas as características que a envolve. Em um dos capítulos de sua tese de livre-docência, ONO (2010) discorre sobre a aplicação do conceito de desempenho na segurança contra incêndio, no qual esse desempenho, com forte vínculo ao domínio do conhecimento da “ciência do fogo (*fire safety Science*)”, serve como base para o desenvolvimento de métodos de projeto. O primeiro documento desenvolvido e publicado sobre o assunto, em 1991, teve como base a “metodologia de avaliação de risco (*risk assessment methodology*), introduzindo o conceito de subsistemas de engenharia de segurança contra incêndio e a avaliação das medidas de projeto ao longo do seu processo de desenvolvimento” (ONO, 2010, p.217).

Posteriormente, foram desenvolvidos outros documentos e códigos internacionais que, atualmente, são referência em se tratando de diretrizes para projetos com base em desempenho. Entre eles se destacam o “*International Fire Engineering Guidelines (IFEG)*” (Austrália), o “*BS PD 7974 - Application of fire safety engineering principles to the design of buildings*” (Reino Unido) e o “*ISO/TR 13387:1999 - Fire safety engineering*” (internacional), o qual originou a norma intitulada *ISO 23932:2009 - Fire safety engineering – General principles*.

Cada um desses códigos contempla subsistemas que funcionam como guias de orientação no desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio, e em se tratando das “Saídas de emergência”, todos os documentos possuem tópicos em comum se referindo à segurança contra incêndio dos ocupantes do edifício, conforme mostra a Figura 2.3.

International Fire Engineering Guidelines (Australia)	BS PD 7974 (Reino Unido)	ISO/TR 13387 (Internacional)
<i>Sub-sistema A</i>	<i>Sub-sistema 1</i>	<i>Sub-sistema 1</i>
Início, Desenvolvimento e Controle do Incêndio	Início e desenvolvimento do incêndio no compartimento de origem	Início e desenvolvimento do incêndio e geração dos seus efluentes (Parte 4)
<i>Sub-sistema B</i>	<i>Sub-sistema 2</i>	<i>Sub-sistema 2</i>
Desenvolvimento, propagação e controle da fumaça	Propagação da fumaça e de gases tóxicos no interior e além do compartimento de origem.	Movimento dos efluentes do incêndio (Parte 5)
<i>Sub-sistema C</i>	<i>Sub-sistema 3</i>	<i>Sub-sistema 3</i>
Propagação, impacto e controle do incêndio	Resposta estrutural e de propagação do fogo além do compartimento de origem.	Resposta estrutural e de propagação do fogo além do compartimento de origem. (Parte 6)
<i>Sub-sistema D</i>	<i>Sub-sistema 4</i>	<i>Sub-sistema 4</i>
Deteção, alarme e combate ao fogo.	Deteção do incêndio e ativação dos sistemas de proteção.	Deteção, ativação e combate ao fogo (Parte 7)
<i>Sub-sistema E</i>	<i>Sub-sistema 5</i>	<i>Sub-sistema 5</i>
Evacuação e controle dos ocupantes	Intervenção dos services de bombeiros.	Segurança à vida – Comportamento, localização e condição dos ocupantes (Parte 8)
<i>Sub-sistema F</i>	<i>Sub-sistema 6</i>	---
Intervenção dos services de bombeiros.	Evacuação	---

Figura 2.3: Quadro apresentado por Rosária Ono com os títulos dos subsistemas dos documentos analisados

Fonte: ONO, 2010, p. 220

De acordo com ONO (2010, p. 245), “o desenvolvimento do processo de projeto deste subsistema depende de informações trazidas dos demais subsistemas, em função das premissas de progressão do incêndio e do perigo que este pode trazer aos ocupantes do edifício”. São nesses subcapítulos, intitulados de diferentes maneiras em cada código, mas com semelhante conteúdo, que estão contidas as diretrizes para o cálculo do tempo de desocupação de uma edificação.

Para calcular o tempo de movimento, é possível a utilização de equações de movimento simples, no qual são estimados o tempo a partir da distância e da velocidade média de deslocamento, ou por modelos computacionais. O tempo total de abandono é composto por várias parcelas de tempo e de acordo com VALENTIN (2008, p.197): “faz-se necessário entender cada uma destas parcelas de tempo, pois se a somatória de tempos que precedem o caminharmento for muito alta, quando o ocupante decidir efetivamente iniciar o movimento, o limite tolerável pode ser mínimo”. A Figura 2.4 demonstra graficamente as parcelas desse tempo total de abandono, o qual, segundo o autor, inclui:

- Tempo de detecção do incêndio: pode ser curto quando as pessoas estão despertas no recinto em que iniciou o incêndio, ou longo se o incêndio ocorrer em sala distante da presença de pessoas e não houver sistema de detecção automática de incêndio. Neste caso, ao ser descoberto, o incêndio já terá se desenvolvido, gerado uma grande quantidade de fumaça ou gases tóxicos;
- Tempo de alarme: depende das ações realizadas pelas pessoas que tomam conhecimento do incêndio ou das características dos sistemas de detecção e alarme;
- Tempo de reconhecimento: mesmo soado o alarme muitas pessoas querem se certificar do que está havendo antes de decidir abandonar o local;
- Tempo de resposta: algumas pessoas ainda vão executar certas tarefas antes de iniciarem o abandono. Estas tarefas podem ser de caráter pessoal ou tarefas necessárias referentes a algum tipo de processo produtivo. A soma do tempo de reconhecimento e de resposta é denominada de tempo de pré-movimento;
- Tempo de caminhada: é aquele efetivamente gasto no deslocamento da saída. Inúmeros fatores influem neste 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.

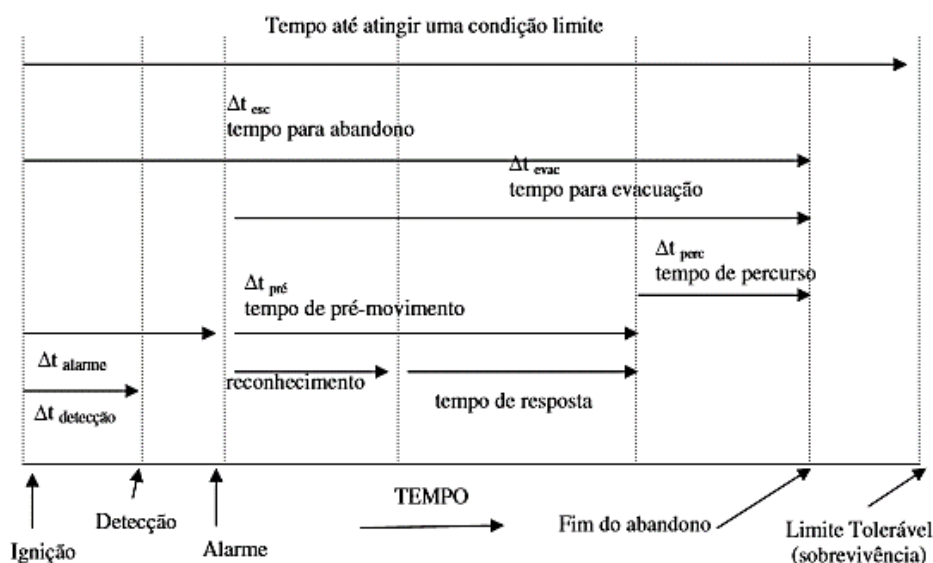


Figura 2.4: Linha do tempo de um caso de incêndio

Fonte: British Standards Institute (2001) apud VALENTIN, 2008, p. 220

A respeito desse tempo nos documentos anteriormente citados, também é possível perceber que o mesmo depende de inúmeros fatores e se divide em fases para facilitar os cálculos e análises. Como exemplo, no IFEG, estão explicitadas as fases de detecção do alarme; de pré-movimento (tempo até início do movimento); e do movimento, levando-se em conta as estratégias de escape e o comportamento humano. O tempo requerido para a evacuação segura (TRES) é aquele que se pretende calcular, e no processo do abandono inclui-se: o início do incêndio (t_0), como o instante para determinação do TRES; a ocorrência

de uma evidência (tc), o tempo para que uma evidência do incêndio surja (alarme/aviso); o reconhecimento da evidência (tr), o tempo em que os ocupantes reconhecem/confirmam a existência de um incêndio; o início do movimento (td), o tempo em que os ocupantes iniciam o movimento de evacuação; e o fim do movimento (tm), o tempo em que os ocupantes alcançam uma área segura.

No BS PD 7974-6:2004, as informações são semelhantes, mesmo que dispostas de outra maneira. O código leva sempre em consideração os parâmetros físicos de escape (tempo de percurso até uma saída e fluxo); os parâmetros psicológicos de escape (tempo de pré-movimento e tipo de sistema de aviso/ alarme); o tempo de escape; e os limites de tolerância humana (visibilidade, produtos da combustão irritantes e tóxicos, calor radiante e temperatura do ar). Nesse guia, para se determinar o tempo necessário de abandono do edifício, são incluídos: o tempo entre ignição e detecção do incêndio; o tempo entre detecção e alarme do incêndio; e o tempo para evacuação, que possui duas grandes fases: pré-movimento e deslocamento. Todos esses tempos se relacionam com outros, como o Tempo Disponível para a Evacuação Segura – TDES; o Tempo Requerido para a Evacuação Segura – TRES; o Tempo de Evacuação; o Tempo de Pré-movimento; e o Tempo de Deslocamento, todos muito bem detalhados por ONO (2010, p.257).

O tempo de pré-movimento pode receber um destaque por sua importância. Ele é o tempo entre o alarme ou aviso do incêndio e o início efetivo do movimento de escape pelos ocupantes e incide um grande diferencial na contagem do tempo total de abandono. De acordo com André Campos e George Braga (2011), ele tem sido estudado de duas maneiras: por meio do acompanhamento de exercícios de evacuação e por meio de entrevistas aplicadas a vítimas de sinistros. A maioria dos pesquisadores da área admitem a necessidade de se calcular esse tempo antes de determinar o tempo total de abandono, conforme afirma PROULX (2002, apud ONO, 2010), porém, os mesmos hesitam em sugerir valores para esse tempo de pré-movimento devido à escassez de dados nesta área de estudo e às incertezas envolvidas.

O primeiro documento que sugeriu tempos para iniciar o abandono foi publicado pela *British Standards Institution* (1997), conhecido como *Draft for Development* DD 240. Esse documento foi discutido e uma versão revisada foi publicada em 2004 com o título de PD 7974-6:2004 (BRITISH..., 2004), a qual apresenta recomendações de tempo para início do abandono, considerando os fatores: qualidade do sistema de alarme; complexidade do

edifício; qualidade do gerenciamento de segurança contra incêndio; estado de alerta dos ocupantes; familiaridade dos ocupantes com a edificação; e densidade de ocupantes. O cálculo desse tempo é necessário em uma das opções dos dados de entrada para alguns *softwares* de simulação, como o caso de um dos utilizados no presente trabalho, e seu uso está comentado no item 4.1.

Na análise desses documentos e em outros que tratam do projeto de segurança contra incêndio baseado em parâmetros de desempenho, é possível perceber o nível de detalhamento e precisão que se pretende alcançar para proporcionar a segurança aos usuários de uma edificação. Fica clara a diferença entre o conteúdo abordado por esses códigos e os regulamentos prescritivos do Brasil, os quais não abrangem tamanha gama de especificidades.

Métodos manuais de cálculo que tem como propósito a obtenção do tempo final de abandono não são utilizados com frequência. As próprias normas e regulamentações utilizadas no Brasil não contemplam requisitos a respeito desse tempo; determinam apenas valores de fluxos em função dos componentes das rotas de fuga (corredor, porta, escada, etc.) e as dimensões e quantidades mínimas de saídas em função da lotação e uso da edificação. Alguns trabalhos elaboraram equações para estimar o tempo final de abandono, como os desenvolvidos por PAULS (1978, 1980), NELSON; MOWRER (2002) e TANAKA (2002), referenciados em ONO (2010).

O tempo de evacuação que um usuário levará se encontra diretamente relacionado à configuração espacial do edifício onde se encontra e ao seu comportamento, o qual é subjetivo e capaz de alterar de diversas maneiras uma situação de emergência. Com tantas variáveis, não é fácil e nem comum que se estime um tempo padrão mínimo de abandono aplicável em qualquer situação. É praticamente impossível criar um padrão para a análise do comportamento e de tudo aquilo que envolve a mente humana e colocá-lo como regra. Porém, a partir de pesquisas com pessoas que já vivenciaram uma situação de fuga de incêndio e por estudos de fugas simuladas em prédios reais, é possível se obter exemplos e modelos que permitem um estudo próximo à realidade e explicita-los por meio de uma abordagem com base no desempenho. Apesar das dificuldades, algumas normas estabelecem, com base em critérios, um tempo de abandono, como a britânica *NBS Building Regulations* (2006), pela qual qualquer pessoa deve atingir um local seguro da edificação, longe dos efeitos do fogo e fumaça em, no máximo, 2,5 minutos.

Como as normas brasileiras não estabelecem esse tempo, o valor encontrado pela NBS *Building Regulations* foi utilizado como parâmetro de comparação para discutir os resultados das simulações realizadas no presente trabalho. Contudo, é importante levar em consideração a colocação de ONO (2010) de que essa definição do tempo de 2,5 minutos para que as pessoas deixem o local em risco é a mais conhecida, porém também a mais antiga. Por ter base no abandono total bem-sucedido durante um incêndio ocorrido em 1911, num teatro em Edimburgo, Escócia, não se pode afirmar, com certeza, a partir de que momento se inicia a contagem deste tempo. Presume-se que seja no instante que as pessoas percebem o perigo e iniciam o movimento de abandono. Contudo, isso é incerto, “pois naquele momento (ano de 1911) não havia a clareza que hoje se têm sobre as fases que envolvem o processo de abandono e os diferentes tempos para reação à informação recebida” (ONO, 2010, p. 442).

Mesmo diante dessa incerteza, no presente trabalho o tempo total de escape resultante das simulações não levará em conta o tempo de pré-movimento, para que possa ser comparado aos 2,5 minutos. Considerou-se que esse tempo idealizado foi contado a partir do início do movimento.

No Brasil, os estudos relacionados ao comportamento humano em situação de incêndios ainda são incipientes, apesar de existir hoje no mercado diversos programas computacionais e outras ferramentas baseadas em parâmetros de desempenho, que podem melhorar significativamente o projeto de segurança contra incêndio. Muito do que se constata em estudos do comportamento do fogo ou da movimentação dos usuários, como a análise do tempo total de escape frente às soluções projetuais adotadas em cada edificação, por exemplo, advém de simulações computacionais. Para o manuseio desses programas é necessário um treinamento específico, mesmo que sejam de simples aplicação, pois os profissionais, principalmente no Brasil, não estão familiarizados aos métodos.

2.3. SAÍDAS DE EMERGÊNCIA NO PROJETO ARQUITETÔNICO SEGUNDO A NORMALIZAÇÃO

2.3.1. Breve histórico no Brasil e no estado do Rio Grande do Norte

As primeiras regulamentações construtivas surgiram em 1668 na cidade de Londres, decorrente de um incêndio de proporções urbanas no ano de 1666. Foi criado um código

construtivo, o *London Building Act*, considerado o precursor das regulamentações modernas de Segurança Contra Incêndio (PINTO, 2001).

Nos Estados Unidos, o primeiro código preocupado com a segurança da vida humana contra incêndio em edificações foi denominado inicialmente como “*Building Exits Codes* (NFPA 101 - T) ” e publicado em 1927 por uma organização norte-americana sem fins lucrativos fundada em 1896, a *National Fire Protection Association* (NFPA). Essa instituição possuía a missão de reduzir as consequências de incêndios e outros riscos por meio da provisão de códigos, normas, pesquisa, treinamento e educação. Posteriormente, sua nomenclatura passou para “*Life Safety Code*”, título que permanece até hoje. Também em relação ao dimensionamento de rotas de fuga, os EUA, por meio da NFPA, (a qual possui o status de uma fonte de referência mundial para a segurança da sociedade, com aproximadamente 300 documentos normativos), publicaram versões do código NFPA 101 – *Life Safety Code* – que abordavam, entre outros temas, a provisão de saídas suficientes nos edifícios para que seus ocupantes deixem o local em segurança durante situações de emergência, como incêndios ou outros desastres. O NFPA 101 - *Life Safety Code* é:

[...] o documento prescritivo mais completo não só para dimensionamento de saídas de emergência, mas para determinar medidas de proteção da vida contra incêndios em edificações, dentre os analisados neste capítulo. O Capítulo 7 deste referido código define, especificamente, todos os parâmetros não só de dimensionamento de saídas, mas também de especificação de materiais e componentes do sistema de rotas de fuga. [...]. É possível verificar, até por meio das figuras ilustrativas apresentadas, o grande nível de detalhamento que este documento apresenta (ONO, 2010, p.215).

No Brasil, até início dos anos 1970, o incêndio era visto como algo que dizia mais respeito ao corpo de bombeiros. A regulamentação relativa ao tema era esparsa, contida nos Códigos de Obras dos municípios, com pouca incorporação do aprendizado com os incêndios ocorridos no exterior (SEITO et al, 2008). Inexistia, por exemplo:

[...] uma norma que tratasse de saídas de emergência. Toda a avaliação e classificação de risco eram decorrência do dano ao patrimônio, sendo a única fonte reguladora dessa classificação a Tarifa Seguro Incêndio do Brasil (TSIB). Talvez possamos até afirmar que a situação do País era semelhante à dos EUA em 1911. E uma conclusão óbvia é a de que nosso País não colheu o aprendizado decorrente dos grandes incêndios ocorridos nos EUA ou em outros países. Inicia-se então a sequência de tragédias (GILL et. al., 2008, p. 23).

Dois grandes incêndios marcaram o Brasil nos anos de 1972 e 1974, o do edifício Andraus (Figura 2.5) e do edifício Joelma (Figura 2.6), ambos em São Paulo. A história da normalização contra incêndio no Brasil tomou um rumo diferente frente a esses dois marcos: foram efetivadas mudanças na legislação e melhorias nas corporações dos bombeiros e institutos de pesquisa relacionados com o tema. A Prefeitura Municipal de São Paulo, por exemplo, publicou, após o incêndio do edifício Joelma, o Decreto Municipal nº 10.878 que “institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração do projeto, na execução, bem como no equipamento e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário” (SEITO et. al., 2008, p. 25), que mudou a maneira como era vista a legislação de prevenção e combate a incêndio no país.



Figura 2.5: Incêndio no Edifício Andraus, 1972

Fonte: <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/sp/eu-esperava-o-predio-desabar-e-morrer-no-concreto-diz-sobreviven/n1597650453407.html>



Figura 2.6: Incêndio no Edifício Joelma, 1974

Fonte: <http://www.bombeirosemerncia.com.br/incendi-ojoelma.html>

Os preceitos normativos de proteção contra incêndio utilizados pelos projetistas no Brasil são encontrados na normalização nacional e nos códigos estaduais. Para o que rege, atualmente, as prescrições de projeto para as saídas de emergência no âmbito nacional, tem-se a NBR 9077, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua versão mais recente, de 2001. A primeira versão desta norma data de 1974 e foi aprovada pela ABNT como NB 208 e intitulada “Saídas de emergência em edifícios altos”.

A primeira revisão desta norma foi proposta em 1980 e realizada por uma Comissão de Estudos da Comissão Brasileira de Construção Civil (CB-2) da ABNT sediada em Porto Alegre, especificamente na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que resultou na aprovação da versão revisada em 1983. Em 1985, esta norma recebeu nova numeração, registrada a partir de então como NBR 9077, já com o título Saídas de emergência em edifícios, estendendo seu escopo para todos os tipos de edificações e não mais somente para edifícios altos (acima de 20 metros de altura) (FAILLACE, 1991, p.72 apud ONO, 2010, p. 135).

A NBR 9077:2001 equivale a Emenda nº 1 de dezembro de 2001 em conjunto com a NBR 9077:1993, publicada há mais de duas décadas. Ela fixa as condições exigíveis que as edificações devem possuir para: 1) sua população ser capaz de abandoná-las, em caso de incêndio, completamente protegida em sua integridade física; e 2) permitir o fácil acesso de auxílio externo (bombeiros) para o combate ao fogo e a retirada da população.

No Rio Grande do Norte, em 1955, por meio da Lei nº. 1.253 de 21 de setembro foi criado o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio Grande do Norte (CBM/RN) como corporação independente, pois desde 1917 os bombeiros eram apenas uma seção anexa ao Esquadrão de Cavalaria da Polícia Militar do RN (ANDRADE, 2014). A primeira legislação sobre o tema da segurança contra incêndio foi a lei nº 4.436 de 1974, aprovada em 09 de dezembro de 1974, alguns meses após o incêndio do edifício Joelma.

O código estadual ainda em vigor é fundamentado nas Normas Brasileiras (NBRs) da ABNT e foi ao longo dos anos sofrendo algumas alterações. Das mais recentes, estão as regidas pela Portaria nº 191/2013 – GAB CMDO/CBMRN, que especifica a adoção da Instrução Técnica 11/14 do CBESP (exceto o seu anexo C), para o caso de saídas de emergência. Essa Instrução, do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, foi originada a partir de alterações da NBR 9077:1993, como reflexo da falta de revisões mais recentes e periódicas desta norma. Cabe salientar que a nova proposta do Código do corpo de bombeiros do RN ainda aguarda aprovação na câmara estadual para vigorar como lei.

2.3.2. A normalização e seu caráter prescritivo

Artigos, dissertações, teses entre outras publicações, como as de NEGRISOLO (2011), ONO (2010) e SCHEER e BARANOSKI (2008), tratam extensivamente sobre a importância da segurança contra incêndio e discutem técnicas, abordagens e artifícios cada vez mais modernos para auxiliar no combate a esse fenômeno. Porém, como no caso do Brasil, os profissionais ainda

elaboram seus projetos apenas baseados em normas prescritivas, as quais não levam em consideração o desempenho das edificações e, por vezes, apresentam soluções restritivas.

Diante da constatação de que, mesmo com o cumprimento das prescrições normativas, algumas propostas de projetos se apresentam como ineficientes ou inadequadas para uma eficaz segurança contra incêndio, profissionais vêm desenvolvendo esforços para refinar as regulamentações com base no desempenho, visando introduzir soluções projetuais mais adequadas e tendo como aliadas as inovações tecnológicas e ferramentas computacionais. De acordo com PUCHOVISKY (1996 apud ONO, 2007, p.43), “o desenvolvimento tecnológico permite, hoje, a adoção de novos materiais e sistemas construtivos, novas alternativas e soluções técnicas, que não estão contempladas nos tradicionais códigos prescritivos”. A exigência pela segurança e conforto das pessoas em uma edificação aumenta a cada ano, assim como cresce a tecnologia para as estruturas prediais, técnicas de projeto e *softwares* de simulação. Destaca-se a necessidade de as normas acompanharem o desenvolvimento da sociedade, o que, de acordo com muitos pesquisadores, no Brasil, não está acontecendo.

Silva (2015) constatou o domínio de utilização das prescrições em um questionário aplicado a projetistas de duas IFES, em cujo resultado a ABNT NBR 9077:2001, referente às Saídas de emergência em edificações, foi a mais citada para a utilização em projetos, confirmando a sua importância no processo de projeção. Os arquitetos não fazem o uso de *softwares* de simulação para a segurança contra incêndio, porém, a partir desses, é possível, de forma dinâmica, comprovar a eficácia do que está em norma, validar dados e avaliar a performance dos projetos, garantindo aos profissionais mais segurança quanto às normas que os mesmos devem aplicar (ALVES et. al., 2008).

As normas baseadas em desempenho são alternativas para melhor adaptação da segurança contra incêndio nos projetos de arquitetura, e diversos trabalhos comprovam a sua eficácia frente a normalização prescritiva. Porém, o uso de recursos tecnológicos voltados para a SCI encontra-se, como mencionado, mais presente na realidade de outros países. No Brasil, o uso das prescrições normativas ainda é forte e se destaca pela sua praticidade e rapidez com que os profissionais podem aplicar em suas soluções de projeto. Uma importante vantagem do projeto prescritivo, em contrapartida ao uso do *performance-based design*, é que:

[...] ele requer pouca análise e, portanto, (presumivelmente) pouco tempo ou conhecimento para aplicar. Implementar um projeto prescritivo é muito parecido com seguir uma receita. [...]. Muitos outros fatores têm mantido a concepção normativa em uso comum. O projeto prescritivo é um “conhecido”. É o que funcionou no passado (LATAILLE et. al., 2003, p. 33).¹⁰

O uso de prescrições normativas é bom até quando as vantagens superarem as desvantagens. Elas são de rápida aplicação e seus fatores de segurança podem ser eficazes e flexíveis para mudanças futuras. Porém, mesmo que os códigos sejam simples, as situações em que devem ser aplicados podem não ser.

O projeto de segurança contra incêndio no Brasil, por ser executado de acordo com regulamentações prescritivas que são aplicadas de maneira simples na maioria das situações, não exigem dos profissionais envolvidos um conhecimento aprofundado do comportamento do incêndio em edificações e possuem seus parâmetros estabelecidos empiricamente, sempre tendo em vista a semelhança com regulamentações estrangeiras. Ao depender das características do edifício, do usuário e de sua interação com a edificação – caso sejam mais complexas –, a aplicação pode se tornar limitada. Nesses tipos de normas, não há referências em relação à saúde da população, a sua mobilidade, seu estado de atenção e seu treinamento em situações de incêndio, por exemplo (CLARET; ESTRUSCO, 2002).

Além disso, outros pontos de crítica podem ser destacados, como o fato desse tipo de regulamentação ser elaborada para a apresentação de requisitos de segurança contra incêndio com base em eventos anteriores, oferecendo requisitos que visam evitar uma tragédia semelhante à última ou às últimas ocorridas em uma localidade. Por esse motivo, são limitadas e podem ter divergências em função de um acontecimento mais recente ao qual estão se atendo, além da falta de sincronia e desatualização que as normas de segurança contra incêndio possuem frente a outros tipos de regulamentações.

¹⁰ Adaptado do original: “[...] it requires little analysis, and therefore (presumably) little time or knowledge to apply. Implementing prescriptive design is very much like following a recipe. [...] Many other factors have kept prescriptive design in common use. Prescriptive design is a “known.” It is what has worked in the past. It matches other designs at existing facilities”

Como exemplo recente: a publicação da “NBR 9050/2004 – Acessibilidade a edificações, mobiliário e equipamento urbano”, que estabelece critérios e parâmetros técnicos para proporcionar condições de acessibilidade, não provocou um imediato ajuste nas normas de segurança contra incêndio. Em consequência, não há, nas demais normas, nada que oriente ou obrigue a existência de locais protegidos para que esses indivíduos possam permanecer seguros até serem retirados de um ambiente sob a ação de um incêndio (NEGRISOLO, 2011, p. 177 e 178).

É certo que a regulamentação pública mais restritiva sempre deve ser cumprida, então presume-se que as pessoas e o patrimônio edificado possam estar sempre em segurança, pois as normas se completam. Porém, essa necessidade do uso de diferentes códigos para a segurança pode comprometer o projeto, caso haja alguma falha nessa aplicação simultânea.

Apesar de possuir lacunas, como as citadas aqui e na introdução deste trabalho (falta de detalhamento e abordagem a respeito do posicionamento das escadas e tempo total de fuga para um usuário na edificação; e desconsideração dos aspectos de movimentação do ocupante), as prescrições normativas são e continuarão sendo muito utilizadas pelos projetistas no Brasil, fato que enfatiza a importância de estudos e aprimoramentos sobre elas.

3. SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES UNIVERSITÁRIAS

As universidades com toda a sua estrutura predial, urbana e social, possuem particularidades que lhes são próprias. Não cabe aqui aprofundar o assunto, pois outros já se preocuparam em discorrer sobre o tema (SALVADOR, 2011 e ESTEVES, 2013). Contudo, é importante enfatizar que esses complexos são dignos de atenção por parte de arquitetos e de projetistas.

Edificações de universidades públicas seguem o processo de elaboração das obras públicas e sofrem das mesmas mazelas dos demais projetos de prédios públicos: atender ao menor custo (Lei Federal 8.666/93); obedecer a curtos prazos de planejamento, elaboração e execução; sofrer influências da restrição de materiais catalogados nas planilhas utilizadas como base de composição dos orçamentos, entre outros. Há ainda pouca preocupação por parte dos gestores em disponibilizar recursos voltados especificamente à segurança e os projetistas responsáveis se sentem engessados diante de várias restrições e aplicam apenas o básico exigido pelo Corpo de Bombeiros (SILVA, 2015).

Atualmente, os projetos arquitetônicos em universidades vêm sofrendo alterações frente a nova demanda de prédios para atender ao aumento do número de vagas oferecidas. Dentre as principais diferenças dos prédios atuais, se comparados aos mais antigos, está a verticalização e a modernização das soluções estruturais. Para se adaptar aos terrenos disponíveis e operacionalizar as atividades acadêmicas, os novos prédios estão mais verticalizados e, quanto às suas funções e ambientes internos, continuam sendo organizados conforme a necessidade particular de cada um, com projetos que visam seguir uma disposição lógica para cada edificação.

Esses prédios reúnem um grande número de usuários e também apresentam fontes de riscos que impõem maior atenção ao projetista: laboratórios com computadores ou produtos químicos e inflamáveis, bibliotecas, documentos importantes a serem conservados para a preservação, função pública acadêmica, auditórios, refeitórios com cozinha, depósitos e almoxarifados; somando-se a isso a presença de um público misto, que conta com adultos mais velhos, pessoas com deficiência locomotora e uma maioria de faixa etária jovem, que normalmente é mais descuidada quanto às questões de segurança. Esse fato é ainda mais

agravado pelo descaso cultural do país, com a falta de treinamentos em simulações de evacuação predial.

O escape é fundamental para a segurança dos usuários em uma situação de incêndio. Por isso, as saídas de emergência são requisitos da SCI que ganham força e importância nos projetos arquitetônicos.

3.1. A ESCOLHA DOS EDIFÍCIOS

Nas normas de SCI utilizadas no RN, não há uma classificação para os prédios universitários quanto à sua ocupação. A depender dos tipos de espaços com que um prédio é composto, sua classificação pode variar como sendo “Educacional”, “Local de Reunião de Público” ou até mesmo ter uma classificação diferente para cada ambiente ou grupo de espaços, como no caso de um edifício escolar com um auditório, por exemplo.

No presente trabalho, os edifícios universitários são classificados quanto à sua ocupação como “Escolar”. Esta classificação eleva a exigência quanto ao cumprimento dos critérios de proteção contra incêndio, principalmente por esse tipo de edificação agregar um grande número de ocupantes durante os dias de semana.

3.2. DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Os prédios selecionados para a realização das simulações e análises, conforme os critérios anteriormente estabelecidos, foram:

- 1) Escola de Ciência e Tecnologia – Estudo 1
- 2) Novas Engenharias – Estudo 2
- 3) Escola de Enfermagem – Estudo 3

No capítulo seguinte, estão descritas as características de cada projeto e apresentados os critérios de dimensionamento da NBR 9077:2001 e da IT 11:2014, relacionados à disposição das saídas de emergência nas edificações.

3.2.1. Estudo 1 (Prédio da Escola de Ciência e Tecnologia – EC&T)

Este prédio, localizado no campus central, em Natal, exerce uma função estratégica dentro das novas políticas educacionais da UFRN. Desde o ano de 2009 os alunos que desejam ingressar nas engenharias, cursam os primeiros anos básicos em Ciência e Tecnologia (C&T)

para depois optarem pela engenharia específica. A edificação (Figura 3.1) foi constituída para se adequar às exigências do selo “A” em eficiência energética e idealizado para atender as normas de SCI. Tornou-se um modelo a ser seguido na nova fase da UFRN, concentrando grandes investimentos públicos e infraestrutura de qualidade.



Figura 3.1: Prédio da Escola de Ciência e Tecnologia

Fonte: <<http://www.anotern.com.br/2012/11/semana-da-ciencia-e-da-tecnologia-na.html>>

Composta por 6 anfiteatros, 9 salas de aula, 10 laboratórios, 54 salas de professores, 1 sala de bolsistas, 1 de monitores e para atendimento a discentes, 6 salas administrativas, e demais dependências necessárias ao funcionamento integral da Unidade (almoxarifado, depósitos, sanitários, copa, etc.), a edificação possui cinco pavimentos: subsolo, térreo, primeiro, segundo, e terceiro andares, cujas plantas, ainda não finalizadas, estão representadas nas Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 ¹¹. O térreo, que conecta o meio externo ao interior da edificação, concentra as grandes salas de aula que se configuram como auditórios, além de um dos laboratórios do prédio e a área administrativa, a única no prédio com duas salas no subsolo. No primeiro andar ficam as salas de aula; o segundo abriga a maioria dos laboratórios e no terceiro estão as salas dos professores e coordenadores.

¹¹ Todos os desenhos do trabalho encontram-se sem escala definida

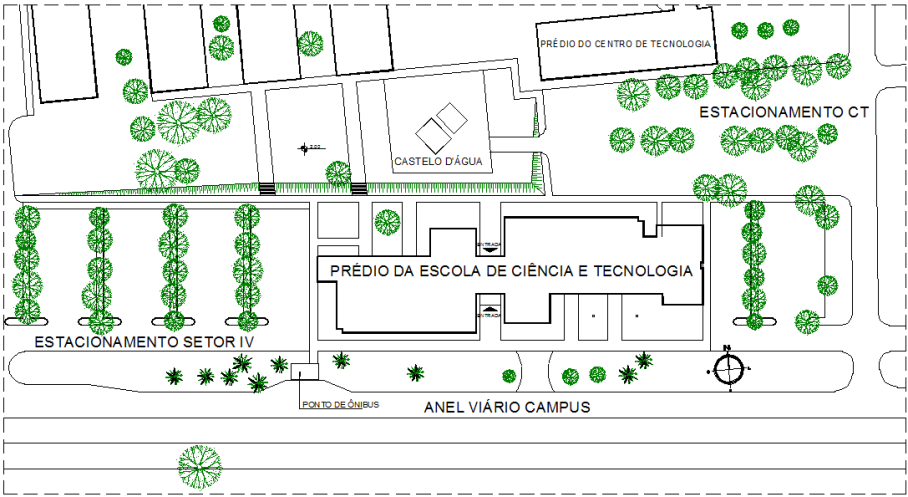


Figura 3.2: Planta de Localização do Prédio da EC&T
Fonte: SIN/UFRN, 2015
Nota: elaborado pela autora, 2015

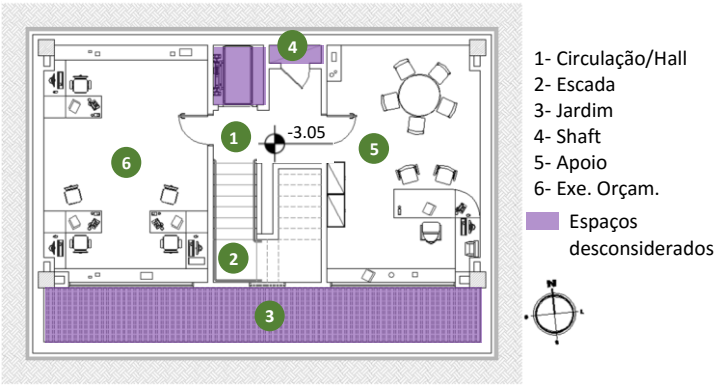


Figura 3.3: Planta do Subsolo - Prédio da EC&T
Fonte: SIN/UFRN, 2015
Nota: elaborado pela autora, 2015

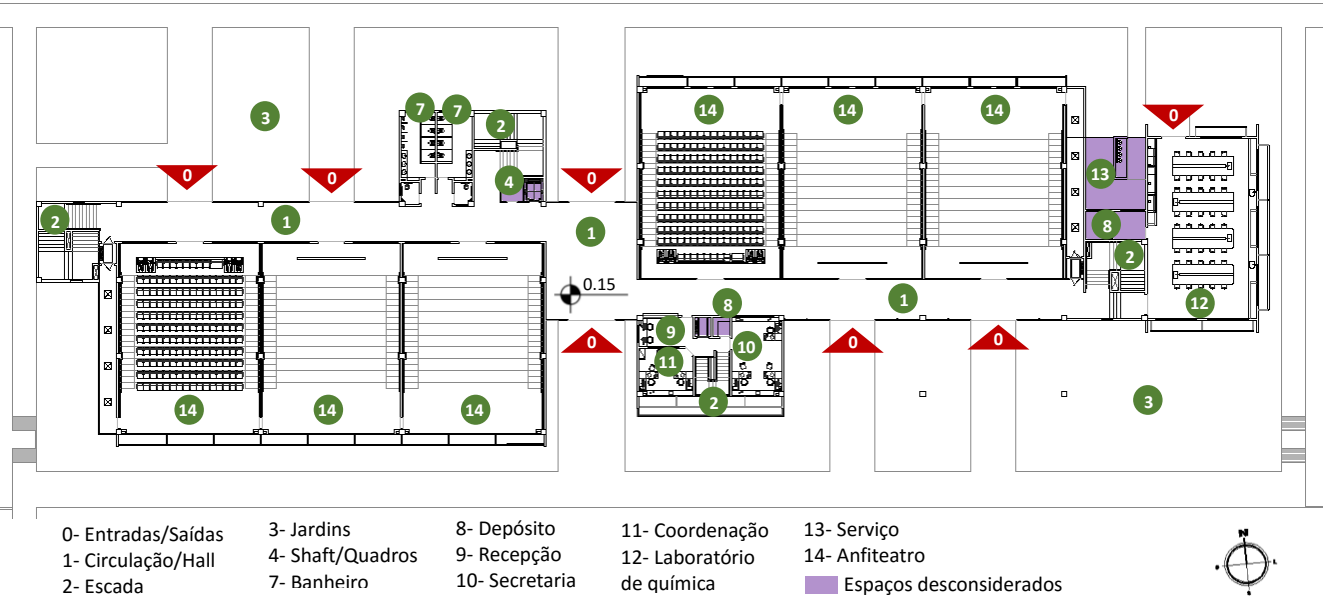


Figura 3.4: Planta baixa do Térreo - EC&T
Fonte: SIN/UFRN, 2015
Nota: elaborado pela autora, 2015

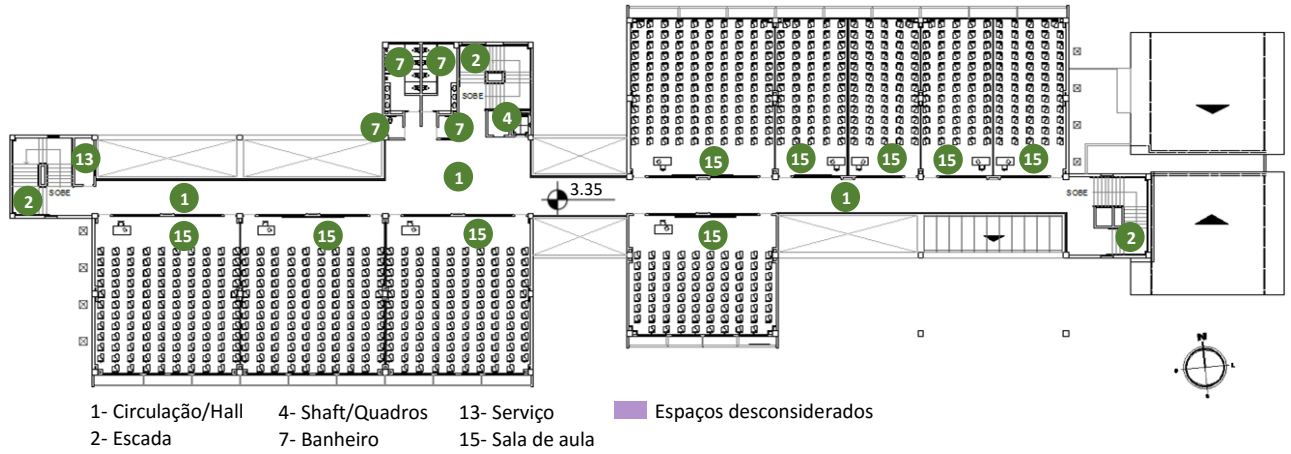


Figura 3.5: Planta Baixa do Primeiro andar - EC&T

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: elaborado pela autora, 2015

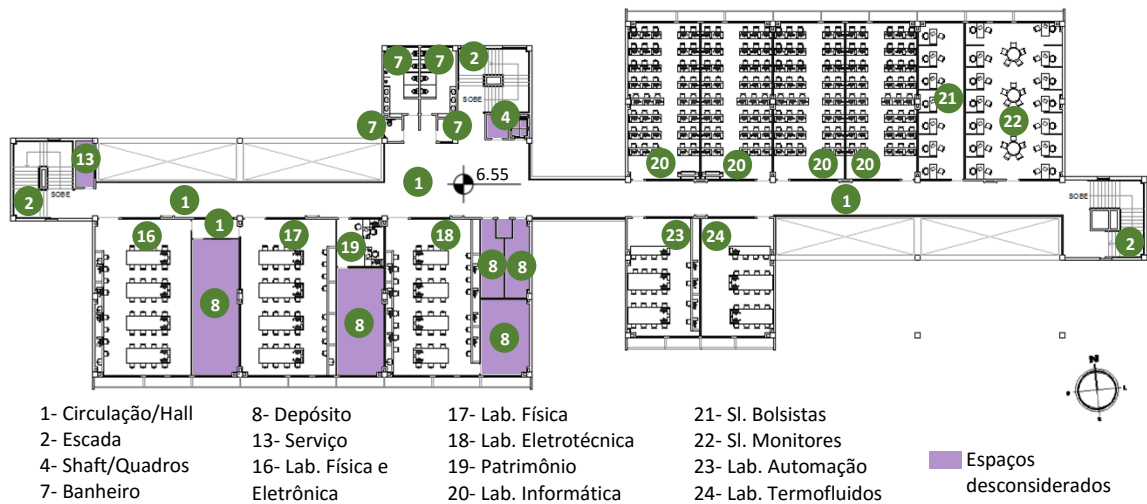


Figura 3.6: Planta Baixa do Segundo andar - EC&T

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: elaborado pela autora, 2015

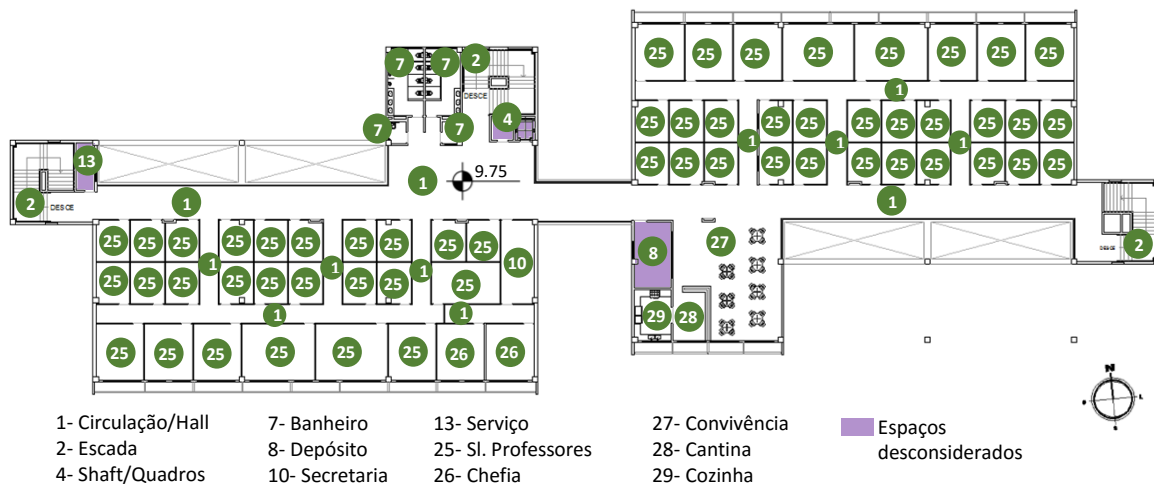


Figura 3.7: Planta Baixa do Terceiro andar - EC&T

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: elaborado pela autora, 2015

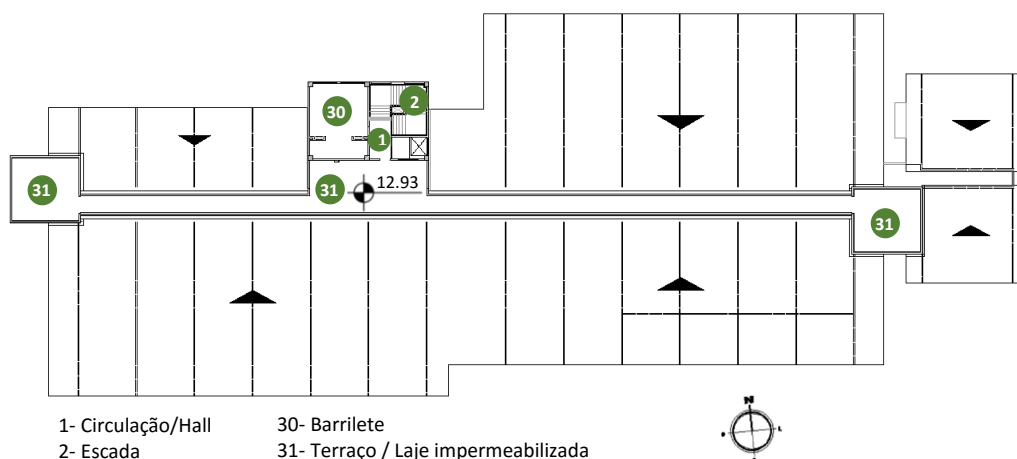


Figura 3.8: Planta Baixa da cobertura - EC&T

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: elaborado pela autora, 2015

A circulação vertical do prédio interliga todos os pavimentos e é feita através de três escadas e um elevador. Este, desconsiderado nas análises, se localiza mais ao centro ao lado de uma das escadas, enquanto as outras duas estão nas extremidades direita e esquerda.

A circulação horizontal é simplificada e se apresenta nos três primeiros andares como um longo corredor conectando todos os ambientes. No último andar ela é mais fragmentada devido a presença de pequenos corredores entre as salas dos professores. No térreo estão as saídas que permitem o abandono dos usuários; elas são em número de 6, porém, duas funcionam como as principais, por serem maiores, mais centrais e estarem abertas por mais tempo que as demais.

3.2.2. Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias)

Os Laboratórios do Centro de Tecnologia da UFRN compõem o Prédio das Novas Engenharias, um dos projetos mais recentes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Ele foi alvo de grandes investimentos públicos, contando atualmente com infraestrutura de qualidade, e idealizado para atender as prescrições normativas de SCI nacionais e estaduais, o que transmite maior confiabilidade às simulações a serem realizadas. Com quatro pavimentos e uma estrutura que lhe dá uma forma curvilínea, como uma “onda”, está localizado no Campus central da UFRN, em Natal/RN (Figuras 3.9, 3.10 e 3.11).



Figura 3.9: Perspectiva digital do Prédio das Novas Engenharias da UFRN

Fonte: <http://www.directaeng.com.br/destaque.php>



Figura 3.10: Obra do Prédio das Novas Engenharias

Fonte: <http://marcoscostaob.blogspot.com.br/2015/04/programacao-religiosa-na-comunidade.html>

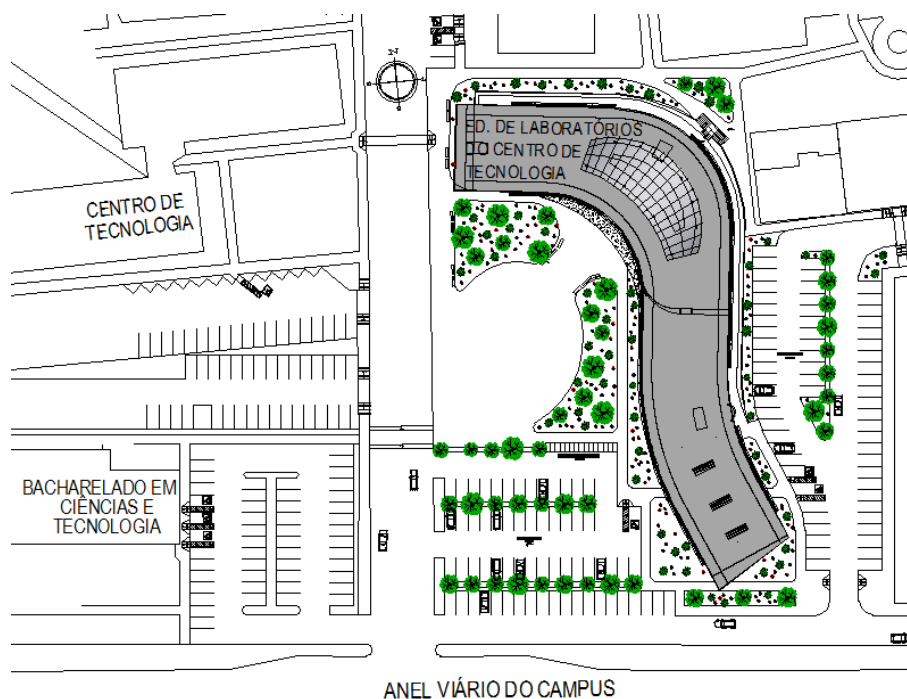


Figura 3.11: Implantação do Prédio das Novas Engenharias

Fonte: SIN/UFRN, 2015

A edificação dispõe do seguinte programa: Térreo com laboratórios da Engenharia de Redes, área de uso comum contando com banheiros e um auditório para 94 lugares, e a área exclusiva para serviço (Figura 3.12); o primeiro andar comporta os laboratórios de Engenharia Ambiental, de Automação, da Engenharia de Produção e os banheiros (Figura 3.13); no segundo andar também estão laboratórios da Engenharia de Produção, assim como os da Engenharia de Petróleo e Engenharia Mecânica e banheiros (Figura 3.14); e o terceiro andar, por fim, também comporta laboratórios da Engenharia Mecânica, além de uma parte da cobertura do edifício contar um teto jardim e banheiros de uso comum (Figura 3.15).

A circulação vertical do prédio interligando todos os pavimentos é feita a partir de três escadas, uma à esquerda da edificação, uma à direita e uma central e três elevadores, os quais se localizam próximos às escadas das extremidades e são desconsiderados nas análises.

A circulação horizontal se apresenta nos dois primeiros e no último andar como um longo corredor conectando todos os ambientes; apenas no penúltimo andar, na extremidade direita da planta-baixa, o corredor é fragmentado em dois para atender as salas dos professores. No térreo estão as quatro saídas para o exterior da edificação. Entre elas, porém, existem as três principais, que se encontram no saguão de uso comum do prédio, e outra na área de serviço, a qual dá acesso restrito a alguns funcionários.

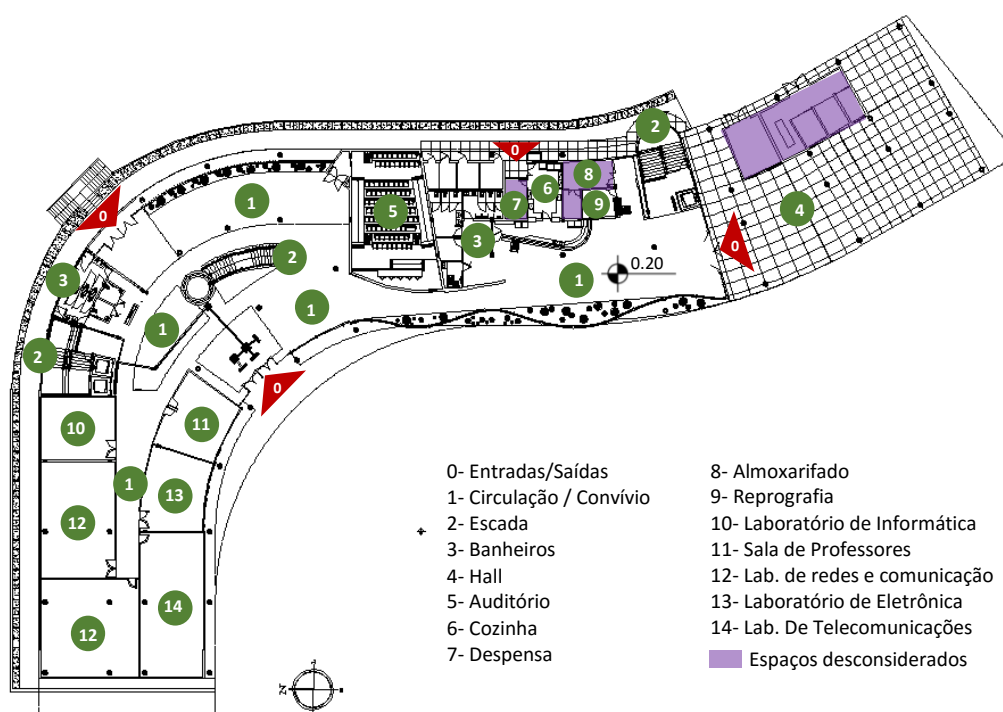


Figura 3.12: Planta baixa do Térreo - Novas Engenharias

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: Elaborado pela autora, 2015



Figura 3.13: Planta baixa do 1º andar - Novas Engenharias

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: Elaborado pela autora, 2015

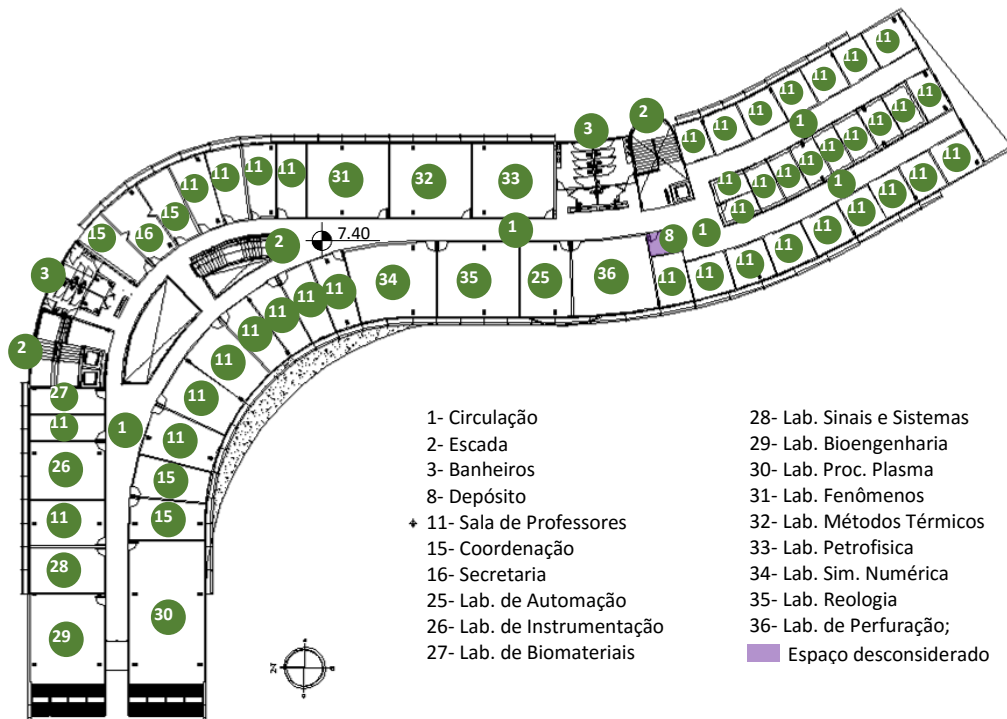


Figura 3.14: Planta baixa do 2º andar - Novas Engenharias

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: Elaborado pela autora, 2015



Figura 3.16: Foto do prédio da Escola de Enfermagem
Fonte: <https://bibliotecadeenfermagemufrn.wordpress.com>



Figura 3.17: Entrada principal da Escola de Enfermagem
Fonte: <http://www.sistemas.ufrn.br/>

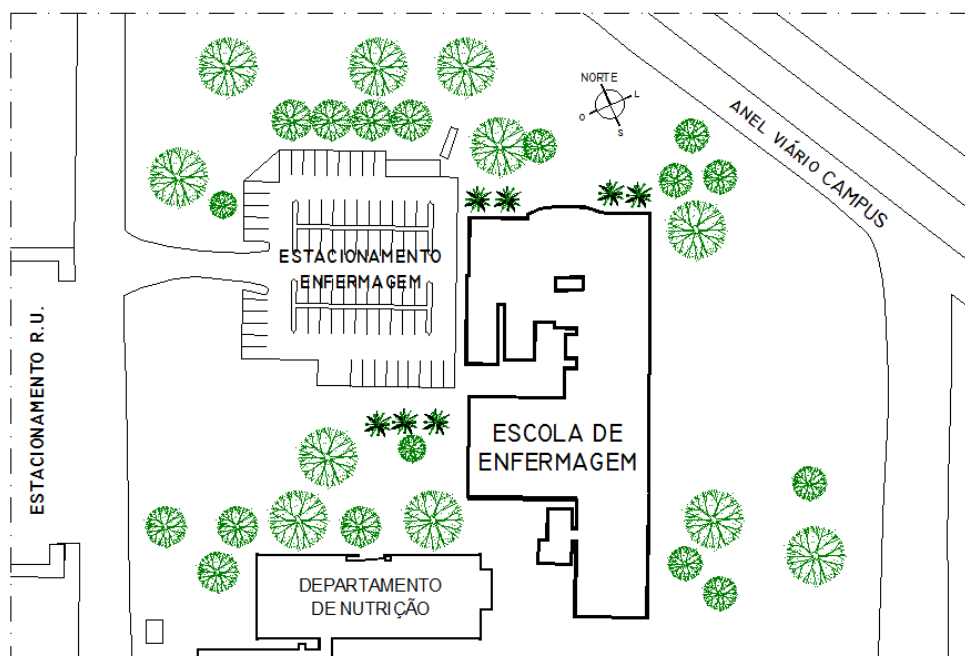


Figura 3.18: Implantação do Prédio da Escola de Enfermagem

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: Elaborado pela autora, 2015

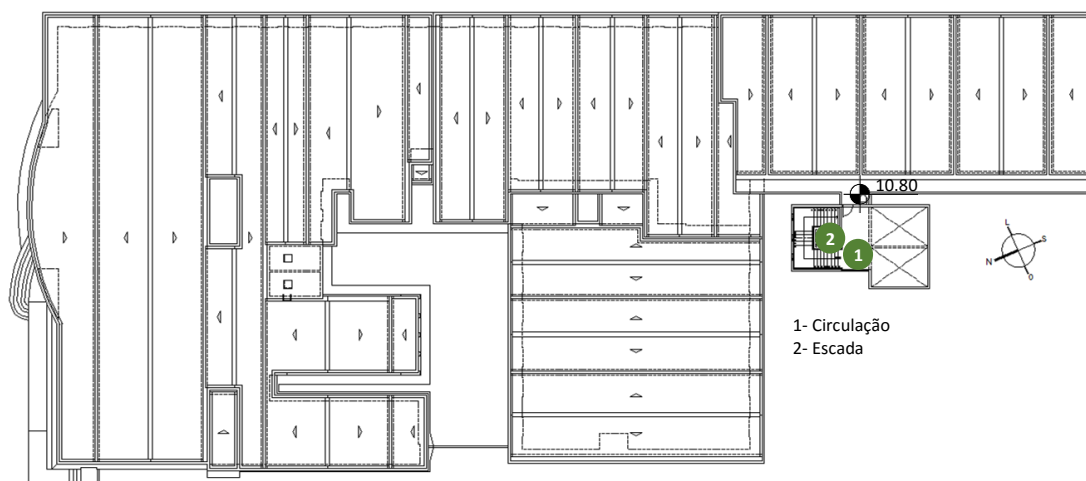


Figura 3.22: Planta baixa da cobertura - Escola de Enfermagem

Fonte: SIN/UFRN, 2015

Nota: Elaborado pela autora, 2015

A circulação vertical do prédio é realizada por meio de duas escadas, uma à esquerda e outra à direita da edificação e uma rampa na área esquerda do prédio. Já na circulação horizontal, encontra-se corredores retilíneos interligando todos os ambientes.

Foram projetadas cinco saídas para o exterior da edificação, porém, duas podem ser tomadas como as principais por serem maiores e em posições mais centrais e estratégicas ao acesso do usuário. As outras saídas encontram-se uma no auditório, uma na área de serviço e outra no jardim, as quais tendem a ser de acesso restrito para aquelas pessoas presentes nos determinados ambientes ou familiarizadas com os locais.

4. MÉTODOS DE ANÁLISE

As análises no presente trabalho, a fim de que os objetivos sejam alcançados, são realizadas com base em projetos de edificações universitárias elaborados em consonância com a SCI, e pretendem avaliar as condições de abandono frente a diferentes cenários de incêndio. Para tal, contou-se com um método composto por dois procedimentos: o de análise dos parâmetros normativos adotados, onde verificou-se a aplicação desses parâmetros aos edifícios em questão; e computacional, com o qual foram realizadas simulações visando avaliar o desempenho das saídas de emergência em edificações – adaptadas às prescrições normativas – frente ao tempo de escape, à movimentação das pessoas durante a fuga e ao seu posicionamento, através de dois *softwares*: o PATHFINDER® (2014) e o DEPTHMAP® (2004).

4.1. ANÁLISE NORMATIVA

Para a decisão de quais edifícios seriam analisados, teve-se como critério de escolha o cumprimento das regulamentações de SCI pelos projetos. Como estão localizados no Rio Grande do Norte, as normas adotadas para as saídas de emergência deveriam ser a NBR 9077 e o Código de Segurança e Prevenção contra Incêndio e Pânico do Estado do Rio Grande do Norte, devendo prevalecer sempre a mais restritiva, conforme mencionado anteriormente. A análise normativa consiste em verificar se em cada uma dessas edificações há, de fato, o cumprimento, ou não, dos parâmetros normativos, mostrando, a partir de um quadro resumo, os itens relacionados às saídas de emergência e sua situação em cada edificação. A finalidade dessa constatação é o estudo do efeito causado pela presença ou ausência dos elementos das normas, quando comparados aos resultados obtidos por meio das simulações computacionais.

O dimensionamento das saídas de emergência nos projetos em estudo foi feito utilizando-se a NBR 9077:2001 e o Código do CBMRN com a IT 11:2014. Ambas as regulamentações são baseadas no conceito de unidade de passagem, que corresponde à largura mínima para a passagem de uma fila de pessoas. A partir dela, determina-se a largura de corredores, portas e escadas. Salienta-se que os parâmetros das normas considerados para o presente estudo são aqueles relacionados ao escape, mas com maior relevância para a análise da verificação do dimensionamento e posicionamento dos elementos das saídas de emergência. Nesse sentido, foram considerados apenas o vão de passagem das portas, e não

o ângulo de abertura das suas folhas, uma vez que, dependendo do caso, essa abertura pode influenciar no fluxo e na passagem dos usuários.

Nessas normas, não é estabelecido um tempo mínimo de evacuação do prédio, embora o seu dimensionamento seja resultado de ensaios e de pesquisas baseadas em velocidade de deslocamento e tempo de abandono ideais, orientado por normas internacionais, que resultaram nas proposições geométricas apresentadas nos referidos documentos.

4.2. ANÁLISE COM OS SOFTWARES

Diante de uma abordagem no qual são utilizados parâmetros baseados no desempenho em substituição aos códigos prescritivos, as simulações computacionais têm sido fortes aliadas no processo de elaboração ou análise de projetos envolvendo a segurança contra incêndio. Por meio de programas computacionais é possível executar diversos tipos de simulações com cenários muito próximos à realidade. Contudo, os estudos já realizados são, em sua maioria, encontrados apenas no meio acadêmico.

Os modelos computacionais fornecem valiosas informações sobre o movimento de pessoas em uma edificação, onde podem ser verificados pontos de estrangulamento e se as saídas estão bem posicionadas, por exemplo, fazendo com que elas sejam efetivamente utilizadas em um caso de emergência. Sobre os modelos voltados para a SCI, MUNIZ (2013, p. 39-40) complementa que:

Segundo Valentim (2008), existem diversos simuladores de incêndio que desempenham um papel significativo na definição dos elementos de proteção passiva das edificações, podendo simular entre outros parâmetros, o comportamento do fogo nos diferentes compartimentos de uma edificação, a influência da área, o número de ocupantes, idade, sexo, o número de entrada e saídas, a eficiência dos materiais de separação das áreas, o tempo de resistência ao fogo dos materiais de revestimento, eficiência das rotas de fuga e a expectativa de sucesso para uma retirada da área.

A fim de compreender os campos de utilização de algumas dessas ferramentas, VALENTIN (2008) e ONO (2010) realizaram um estudo com base nas pesquisas de OLENICK e CARPENTER (2003) e KULIGOWSKI e PEACOCK (2003), respectivamente citadas em seus trabalhos, que mostram uma descrição da classificação dos modelos para incêndio e abandono. Foram identificados 168 modelos matemáticos provenientes de vários países e classificados, de acordo com OLENICK e CARPENTER (2003), em: de zona; de campo; para detecção de incêndio;

de abandono; e de resistência ao fogo da estrutura. Hoje, os modelos são ainda categorizados em dois tipos, probabilísticos (estocásticos) e determinísticos.

No método probabilístico não se faz uso direto dos princípios físicos e químicos envolvidos no fogo, mas sim, de previsões estatísticas sobre a transição de um estágio para outro do crescimento do incêndio. Envolve a distribuição de probabilidades de determinados eventos ocorrerem a partir de um cenário especificado. [...]O método determinístico, utilizado para modelar o transporte de calor e de fumaça no incêndio, pode adotar modelos de camadas e modelos de campos. O modelamento em camadas divide o ambiente incendiado em duas partes uniformes: uma camada superior com gases quentes e outra camada inferior fria, resultante da estratificação térmica, devida ao empuxo. O fogo é considerado uma fonte de energia e de massa (CAMPOS; BRAGA, 2011, s.p.).

Conforme KULIGOWSKI e PEACOCK (2003), os modelos computacionais que simulam abandonos de edificações variam de acordo com as características introduzidas no modelo e são classificados 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:

- Modelos de movimento: partem da premissa da existência de uma população homogênea e consequentemente 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 comportamentos menos complexos, 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, por exemplo, a presença de fumaça e de fogo no ambiente, podendo chegar a simular desmaios e até a morte do ocupante.

Dos programas matemáticos desenvolvidos para simulações computacionais na área de SCI, o presente trabalho mira em um dos modelos de abandono, de movimento e comportamento parcial, o PATHFINDER® (2014). No caso do outro programa a ser utilizado, o DEPTHMAP® (2004), o método de análise que o envolve, concernente à análise da inteligibilidade nas edificações, permite que seu uso também se volte para estudos com fins do presente trabalho.

4.2.1. Análise com o PATHFINDER: Tempo e Movimento

O PATHFINDER¹² é um *software* que funciona como modelo de simulação de abandono e movimento em uma edificação (Figura 4.1). Sua escolha para o presente trabalho se justifica devido a ele permitir a obtenção de informações quanto ao tempo total de escape, e por ser considerado como um modelo de abandono, o qual, além de prever 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” (VALENTIN, 2008, p. 166).

MODELO	PAÍS	DESCRIÇÃO
Allsafe	Noruega	Modelo de abandono que inclui fatores humanos
ASERI	Alemanha	Movimento de pessoas em geometria complexas, incluindo resposta comportamental para crescimento do incêndio e fumaça.
buildingEXODUS	Reino Unido	Modelo de abandono que inclui a iteração de milhares de pessoas em grandes geometrias
EESCAPE	Austrália	Evacuação de edifícios com vários andares via escadas
EGREES	Reino Unido	Evacuação de várias pessoas em geometrias complexas. Inclui visualização
EgressPro	Austrália	Modelo de abandono que inclui o tempo de ativação de detectores e sprinklers
ELVAC	EUA	Modelo de abandono para uso de elevadores
EVACNET 4	EUA	Determina o plano de abandono mais eficaz em um edifício
EVACS	Japão	Modelo de Evacuação que determina o projeto mais favorável
EXIT 89	EUA	Modelo de evacuação para edifícios altos
EXITT	EUA	Modelo de abandono do tipo arco e nó que inclui aspectos comportamentais dos ocupantes
PATHFINDER	EUA	Modelo de abandono
SAVE-P	França	Modelo de abandono que inclui obstruções no percurso
SIMULEX	Reino Unido	Modelo de abandono baseado em coordenadas. Simula o abandono em edifícios com múltiplos andares
STEPS	Reino Unido	Modelo de abandono
WAYOUT	Austrália	Parte de abandono do conjunto de programas <i>FireWind</i>

Figura 4.1: Tabela com os modelos de abandono e destaque para o PATHFINDER

Fonte: VALENTIN, 2008, p. 167

Nota: Adaptado pela autora, 2015

No trabalho de Rosane Muniz (2013), por exemplo, o PATHFINDER possibilitou a obtenção de informações fundamentais na definição do plano de retirada de emergência, seu objeto de estudo. O programa fornece resultados numéricos, que correspondem a tempos e velocidade de deslocamentos, e número de ocupantes. Segundo a autora, o uso dessa

¹² Elaborado pelo fabricante americano *Thunderhead Engineering*®, o programa apresenta uma interface gráfica que facilita o processo de modelagem e análise dos resultados, por meio de visualizações 2D e 3D. Sua interface é de fácil compreensão e simples manuseio e seu uso foi disponibilizado por meio de uma licença educacional obtida com a anuência do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Projeto e Meio Ambiente da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ferramenta computacional forneceu resultados essenciais para elaboração de um projeto que leve em conta a segurança das pessoas que irão utilizar a edificação.

O modelo escolhido assemelha-se ao grupo de comportamento parcial, o qual é baseado em pesquisas de observação do comportamento humano; é capaz de reconhecer projetos desenvolvidos em *Computer-Aided Design* (CAD); e, ainda, possibilita a visualização dos ocupantes durante a simulação. Ele pode ser utilizado para avaliar qual a solução que melhor se enquadra em um projeto, a partir de diferentes cenários. De acordo com Valentin (2008, p. 169), “as variáveis para os cenários de abandono incluem as características do edifício, tais como o número de pavimentos, o leiaute dos pavimentos, as características dos ocupantes, tais como o seu número e localização, a velocidade e dados antropométricos”. Nesse tipo de modelo, é possível introduzir perfis variáveis de pessoas (com diferentes idades, alturas e velocidades de caminhada) e comportamentos de ultrapassagem, e de acordo com o cenário escolhido, definir o tempo de pré-movimento dos ocupantes.

Em cada projeto utilizado para as simulações, foram consideradas as mesmas variáveis (características do edifício e características dos ocupantes), modificando apenas, quando necessário, os cenários, uma vez que nem todos os projetos podem comportar as mesmas situações de análise. Em todas as simulações, foi considerada a evacuação imediata dos pavimentos, os quais foram admitidos com a lotação máxima de ocupantes. Essa população é calculada com base no *layout* apresentado em planta ou, na ausência deste, por meio do cálculo indicado pela normalização, como explicado no item 1.4 – Metodologia de Trabalho.

O programa foi elaborado com base em algoritmos que variam automaticamente a depender da simulação. Os ocupantes são modelados como cilindros na posição vertical e seus movimentos são calculados de forma independente a partir de um conjunto de parâmetros como velocidade máxima, sexo, idade, etc. As variações estão nessas características físicas, que podem ser definidas conforme preferência de quem manuseia o programa. Os ocupantes foram distribuídos pela edificação randomicamente e, nos casos do presente trabalho, são considerados como um público adulto com média de idade entre 20 e 40 anos; o sexo dos usuários foi distribuído meio a meio, devido à forte presença tanto de homens como de mulheres em prédios universitários; a altura dos usuários considerada foi a média da população brasileira do Rio Grande do Norte, 1,65m (IBGE, 2008-2009); e a velocidade de caminhada foi padronizada em 1,3 m/s, conforme apresentado no capítulo 2.

O PATHFINDER suporta dois modos de simulação de movimento, o “*steering*” e o *Society of Fire Protection Engineers* (SFPE). 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. Para as simulações da presente pesquisa foi utilizado o modo “*steering*”, devido às características citadas e por, muitas vezes, as respostas estarem mais próximas à realidade, conforme cita o guia de usuário do programa (2014).

De acordo com o padrão (*default*) do PATHFINDER o tempo de pré-movimento, ou seja, o tempo entre o recebimento das informações do acontecimento de um incêndio e o início do movimento, praticamente não existe, sendo considerado de 0,1 segundos. Isso implica em uma situação no qual todos os indivíduos iniciam o movimento em direção à saída ao mesmo tempo, após 0,1 segundos, praticamente imediatamente após o alarme. Mesmo que esse tempo seja muito variante, neste trabalho ele não foi alterado, mas padronizado no valor indicado pelo programa. Essa padronização se justifica para efeito de comparação com o tempo de escape total de 2,5 minutos estabelecido pela NBS *Building Regulations*, já comentado no item 2.3.

No programa, os ocupantes são automaticamente direcionados para a saída (escada ou porta) mais próxima, o que distribui a população de forma equilibrada. Convém ainda ressaltar que os casos simulados devem ser considerados ideais, ou seja, contando com a ausência de comportamentos não adaptativos, visto que não foram considerados os riscos inerentes a um incêndio como a presença do fogo e da fumaça; o sistema de alarme, caso fosse necessário para a edificação, estava em perfeitas condições; e todas as saídas de emergência se encontravam desobstruídas.

Como resultado das simulações, o PATHFINDER apresenta um arquivo contendo informações sobre densidade, tempos de saída máximo e mínimo, em segundos (s), tempo de saída e de entrada dos usuários em cada componente da edificação – Piso (*Floor*), Sala (*Room*), Porta (*Door*) e Escada (*Stairs*) – também em segundos – e fluxo dos ocupantes, em pessoa/segundo (pers./s), conforme exemplificado na Figura A1 do Anexo A. Os termos “*FIRST IN*” e “*LAST OUT*” correspondem aos tempos com que o primeiro usuário adentrou e com que o último saiu de um dos componentes citados (piso, sala, porta ou escada).

Os componentes presentes em cada edificação e que, para as simulações no PATHFINDER, são importantes de serem contabilizados, são as Salas (*Rooms*), Portas (*Doors*)

e Escadas (*Stairs*). A quantidade dos mesmos é grande, pois nos resultados apresentados pelo programa cada um deles é computado. Porém, para cada cenário, apenas uma parte dos resultados obtidos é apresentada, mantendo-se o foco nos elementos que se relacionam com o cenário em questão.

As informações do resumo não são as únicas geradas pelo *software*. Executar esse modelo gera várias outras saídas de dados, tais como: o gráfico de contagem de ocupantes (Figura A2 do Anexo A); e os resultados em 3D (Figura A3 do Anexo A), por exemplo. O resumo fornece uma visão geral de resultados da simulação, o gráfico de contagem mostra o número de pessoas nos espaços ao longo do tempo, e o modo de exibição apresenta os resultados em 3D, o qual opera como um vídeo que permite ao usuário rodá-lo, pausar, parar e navegar no modelo durante o tempo de visualização, permitindo a repetição da simulação como uma animação quando for necessário.

4.2.2. Análise com o DEPTHMAP: a Sintaxe Espacial como recurso de investigação

Existem, atualmente, diversos modelos computacionais que simulam movimento de pessoas e representam ferramentas básicas para avaliação e aprimoramento do projeto de saídas de emergência. A Sintaxe Espacial explora a configuração dos espaços, a percepção desses pelos seus usuários e a relação de interdependência entre os elementos constituintes de um sistema espacial (urbano ou edifício), tais como ruas, quadras e ambientes de uma edificação.

Quando o edifício, por exemplo, é explorado como um todo – tratado como um sistema – pode-se dizer que o movimento de pedestres é explorado não por querer entender como uma pessoa se comporta na edificação, e sim pela possibilidade de movimento dentro do espaço edifício. A sintaxe espacial permite a interpretação e quantificação desse movimento. A teoria destaca o espaço como uma variável independente, ou seja, não é um elemento passivo, ele por si só influencia o movimento das pessoas (HILLIER, 1996).

Os arquitetos aprendem a solucionar os problemas de projeto criando e testando alternativas até que se alcance a composição espacial desejada, e a teoria da Sintaxe Espacial ajuda os profissionais nesse processo, como afirma Pelin Dursun (2007, s.p.):

Este conhecimento é uma síntese de prática e teoria, em outras palavras mistério e certeza, intuição e ciência, experiência e pesquisa. Os arquitetos devem [...] trazer todos os componentes juntos de uma forma criativa. [...] Sintaxe espacial é baseada na teoria configuracional do espaço e tenta decodificar formações espaciais e seus impactos sobre a atividade humana. Até o desenvolvimento de novas técnicas de representação e análise do espaço, a sintaxe espacial aparece como uma ferramenta para arquitetos explorarem suas ideias de projeto e compreenderem possíveis efeitos de suas propostas.¹³

Como uma ferramenta, a SE contempla técnicas de entendimento e representação do espaço, gera subsídios que permitem ao pesquisador investigá-lo do ponto de vista das articulações, descreve possibilidades de interação e contatos a partir de possíveis fluxos diferenciados de veículos ou pessoas. Seu método de análise, de acordo com MEDEIROS (et al, 2011, p.41) “equivale à exploração dos espaços ou vazios deixados pelos cheios na cidade ou no edifício, o que avaliza a associação ao conceito de forma-espaço”. Ao estudar as relações entre objetos, interpretam-se os vazios entre eles. Se o elemento de exploração são as cidades, o vazio, portanto, corresponde às calçadas, passeios, ruas e vias; se são edifícios, o vazio corresponde a corredores, *halls* e cômodos.

A análise de propriedades configuracionais, ou sintáticas, do espaço, permite determinar alguns aspectos do seu funcionamento, que outras abordagens não são capazes de explorar. Sua interpretação é apresentada por meio de dados quantitativos e gráficos:

A Sintaxe Espacial usa técnicas e modelos computacionais para o entendimento das questões configuracionais, associando valores quantitativos e expressões matemáticas para a análise do espaço. Esses procedimentos investigativos geram propriedades capazes de quantificar relações [...], mostrando fluxos naturais de movimentação (CARMO et al, 2012, s.p.).

A ferramenta em questão é de análise no plano bidimensional e seu uso se relaciona à leitura do espaço edificado que, aqui, tem enfoque no sistema de saídas de emergência e seu impacto no projeto de arquitetura. A edificação, para que possa favorecer o movimento dos

¹³ Adaptado do original: “This knowledge is a synthesis of practice and theory, in other words mystery and certainty, intuition and science, experience and research. Architects must [...] bring all components together in a creative way. [...] Space syntax is based on configurational theory of space and attempts to decode spatial formations and their impacts on human activity. By the development of new techniques for representing and analyzing space, space syntax appears as a tool for architects to explore their design ideas and understand possible effects of their proposals”.

seus ocupantes até uma dessas saídas ou a um local seguro, deve ser o mais inteligível possível, como já comentado no tópico 2.2.

A inteligibilidade de uma estrutura espacial, por sua vez, se relaciona à distância topológica, um aspecto fundamental para se entender a aplicabilidade da Sintaxe Espacial como uma ferramenta útil para os fins propostos no presente trabalho. Lucas Figueiredo (2004, p. 22) afirma que “a topologia é um ramo da matemática que foca propriedades como a posição, forma de conexão, relações de vizinhança, adjacência, entre outras; e não as propriedades dimensionais ou métricas abordadas pela geometria”. O viés topológico é uma das particularidades de investigação da teoria. A SE oferece um método de quantificar vários níveis de relações topológicas em um *layout* (HAQ, 2001), como segue:

A configuração de layouts espaciais é descrita em termos do padrão de conexões entre definidas "unidades" de espaços. Ela não lida com distâncias métricas, mas com valores topológicos. Uma importância desta teoria está no fato de que ela dá uma medida objetiva para cada "unidade" do espaço conforme ele se relaciona com os outros em um sistema configuracional (HAQ, 2001, p.65).¹⁴

De acordo com Valério Medeiros (2013a, p. 28), “em arquitetura, topologia é entendida como o estudo de relações espaciais que independem de forma e tamanho. Geometria, por outro lado, é a descrição direta dos elementos físicos componentes quanto às dimensões, proporções, escalas, etc.”.

Com olhar para a relação entre partes de um todo, a SE, estuda, entre outros aspectos, as tendências de movimento, de escolhas de caminho que alguém pode fazer, levando em consideração a facilidade em percorrê-lo e defendendo que uma rota mais curta topologicamente, por exemplo, pode não ser aquela de distância métrica mais curta. Diante das premissas da teoria, analisa-se o movimento natural dos pedestres e constata-se que, para fluxos e movimentos, as distâncias topológicas são mais relevantes que as métricas, uma vez que as pessoas se utilizam de outras estratégias para se moverem pelo espaço, que não apenas a distância.

¹⁴ Adaptado do original: “Configuration of spatial layouts is described in terms of the pattern of connections between defined ‘units’ of spaces. It does not deal with metric distances, but with topological values. One importance of this theory lies in the fact that it gives an objective measure to each ‘unit’ of space as it relates to others in a configurational system”.

Ao se questionar sobre as estratégias que as pessoas usam para se moverem pelo espaço, se elas procuram a rota mais curta em termos métricos (apenas distância) ou se levam outros fatores em consideração para a escolha, pode-se imaginar a situação em que: uma pessoa ao ser indagada por outra a respeito de como chegar em determinado lugar, na existência de duas rotas – uma mais longa seguindo uma via principal, com uma única mudança de rota para a esquerda, e outra muito mais curta com diversas mudanças de rota através de vias secundárias – aquela a ser indicada ao indivíduo será a rota mais longa e simples. Pois, ao se tentar dar direcionamentos com muitas mudanças de direção, como para uma pessoa em uma edificação desconhecida querendo chegar em algum lugar, por exemplo, certamente ela terminará perdida caso tenha que fazer muitas mudanças para a esquerda e direita. Talvez devido aos seus cérebros se negarem a trabalhar com muita complexidade, os humanos preferem as rotas mais fáceis às aquelas que são labirínticas (WELL CONNECTED, 1999).

Em relação ao projeto, a topologia trata da organização e se relaciona com os direcionamentos dos campos visuais. Dessa forma, a distância topológica equivale à distância percorrida pelo menor caminho entre dois espaços, no sentido de que, diferente da métrica, a distância topológica considera como o caminho mais curto aquele que permite o menor número de mudanças de direção entre um par de pontos analisados (Figura 4.2). A rota topologicamente mais curta, portanto, tem mais relação com a facilidade em percorrê-la, caminhando ou visualmente, do que apenas a consideração do caráter métrico.

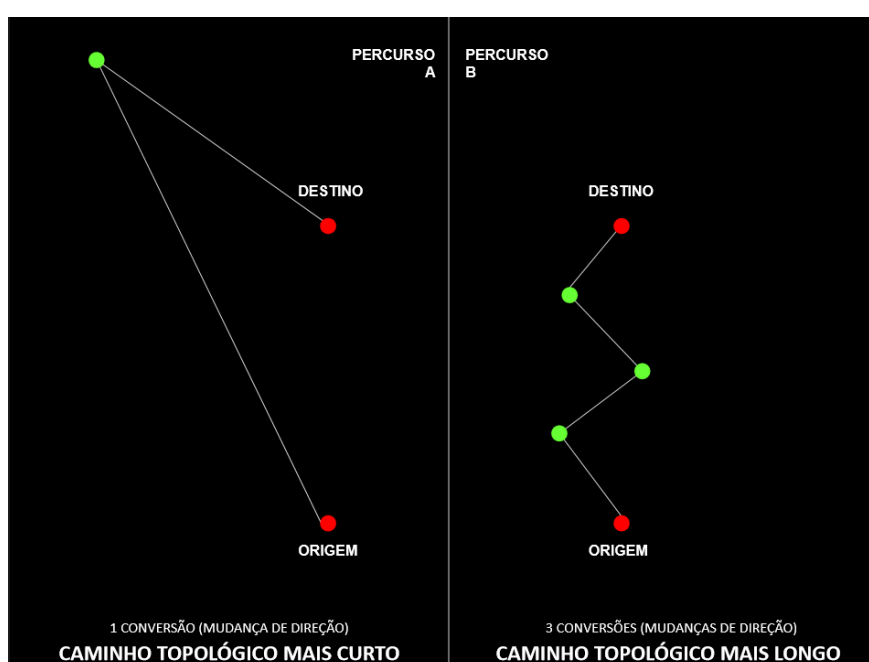


Figura 4.2: Exemplos de caminhos topológicos

Fonte: MEDEIROS, 2013b

A elucidação dessas afirmativas aproxima a importância do estudo da sintaxe espacial relacionado ao da segurança contra incêndio. Que os ocupantes de uma edificação possam se sentir seguros é fator primordial numa situação de emergência, como incêndio, por exemplo. Além disso, compreender a lógica de movimentação de uma pessoa em uma configuração espacial, permite associá-la à movimentação de alguém que deseja sair de uma edificação, especialmente em situação de fuga.

Na ASE, as configurações de edifícios ou de cidades são importantes fontes de informação, pois as mesmas podem ser representadas, quantificadas e mensuradas, destrinchando-se em propriedades espaciais, como acessibilidade topológica e geométrica e visibilidade. Seus resultados são representados por meio de mapas axiais, de campos visuais, entre outros, os quais expõe medidas sintáticas, ou topológicas, como conectividade, integração e profundidade, que estão explicitados adiante.

Com informações obtidas por meio da ASE é possível verificar a acessibilidade das saídas de emergência quanto às suas localizações nas edificações em questão. Essa análise pode ser realizada por meio de programas computacionais, cabendo destacar o DEPTHMAP® como um dos mais difundidos, por gerar as diversas possibilidades de representação da teoria.

Nas análises provenientes do DEPTHMAP, linhas e pontos indicam as possibilidades de movimento ou níveis de visibilidade. Na ASE não são considerados fatores como fluxo de pessoas por porta, ou aglomerações na movimentação, mas os lugares mais segregados, ou os mais integrados, a tendência e potencial de movimento. As informações provenientes dessas análises interagem com os resultados obtidos através do PATHFINDER.

O uso da SE, aqui, prioriza a análise da inteligibilidade e acessibilidade com as quais as pessoas em uma edificação contam para escapar com segurança de uma situação de incêndio. O foco é verificar se a configuração espacial está inteligível e se as saídas de emergência estão acessíveis aos usuários em todos os pavimentos. Após as análises dos resultados gerados pelo DEPTHMAP, é possível entender a relação dessas saídas com o edifício como um todo e como elas se enquadram em relação ao alcance do usuário que estará em momento de fuga. Para este fim, considera-se, portanto, as distâncias topológicas dos ambientes em relação às saídas para a área externa da edificação, por meio do número de mudanças de nível que são necessárias para se chegar de um local a outro dentro do prédio.

A SE envolve diversos tipos de técnicas de representação, quantificação e análise, porém para o presente estudo, duas delas foram utilizadas: a representação linear do espaço e o VGA (*Visibility graph analysis*)¹⁵, por meio das quais as edificações investigadas são representadas do ponto de vista configuracional. Para um entendimento mais amplo e detalhado da teoria, outras publicações¹⁶ devem ser consultadas. As técnicas em questão visam caracterizar diferentes níveis de acessibilidade no edifício mediante o cálculo de relações de acesso, cujos valores numéricos são convertidos para bandas cromáticas, explicadas adiante, em representações comumente designadas como mapa axial e mapa (ou grafo) de visibilidade.

A representação linear é obtida traçando-se sobre a planta baixa o menor número possível de linhas (ou eixos) que representam acessos diretos através dos vazios na edificação. Essas são as linhas axiais, que representam de maneira bidimensional a tendência de movimento das pessoas no espaço. Já a representação por pontos, segue semelhante método, porém, representam o que é visível dentro de um espaço. Ao invés de linhas, são dispostos pontos em uma malha regular disposta sobre as plantas baixas.

Após o processamento das retas ou pontos, gera-se uma matriz de interseções a partir da qual são calculados, por aplicativos especialmente programados para estes fins, como o DEPTHMAP, valores representativos de suas inter-relações. Dados que representam essas inter-relações podem ser analisados em diversos níveis, a depender da escolha do pesquisador. A Figura 4.3 explica o processo da construção de um mapa axial. Nesse caso, ela foi feita a partir da malha viária de uma cidade, porém, da mesma maneira é feita a construção de um mapa axial para uma planta baixa contendo os ambientes de uma edificação, por exemplo.

¹⁵ Duas estratégias de representação são utilizadas para o estudo, cada uma relacionada com um aspecto de como as pessoas experimentam e usam o espaço: as pessoas movem-se ao longo de linhas – representação linear – e dominam um campo visual a partir de qualquer ponto determinado – VGA.

¹⁶ Bill Hillier e Julianne Hanson (1984), Hillier, Hanson e Graham (1987), Hanson (1998), Hillier (2007) e outros documentos divulgados por importantes meios de informação como o Journal of Space Syntax (JOSS) e o maior evento da área de SE, o International Space Syntax Symposium (ISSS).

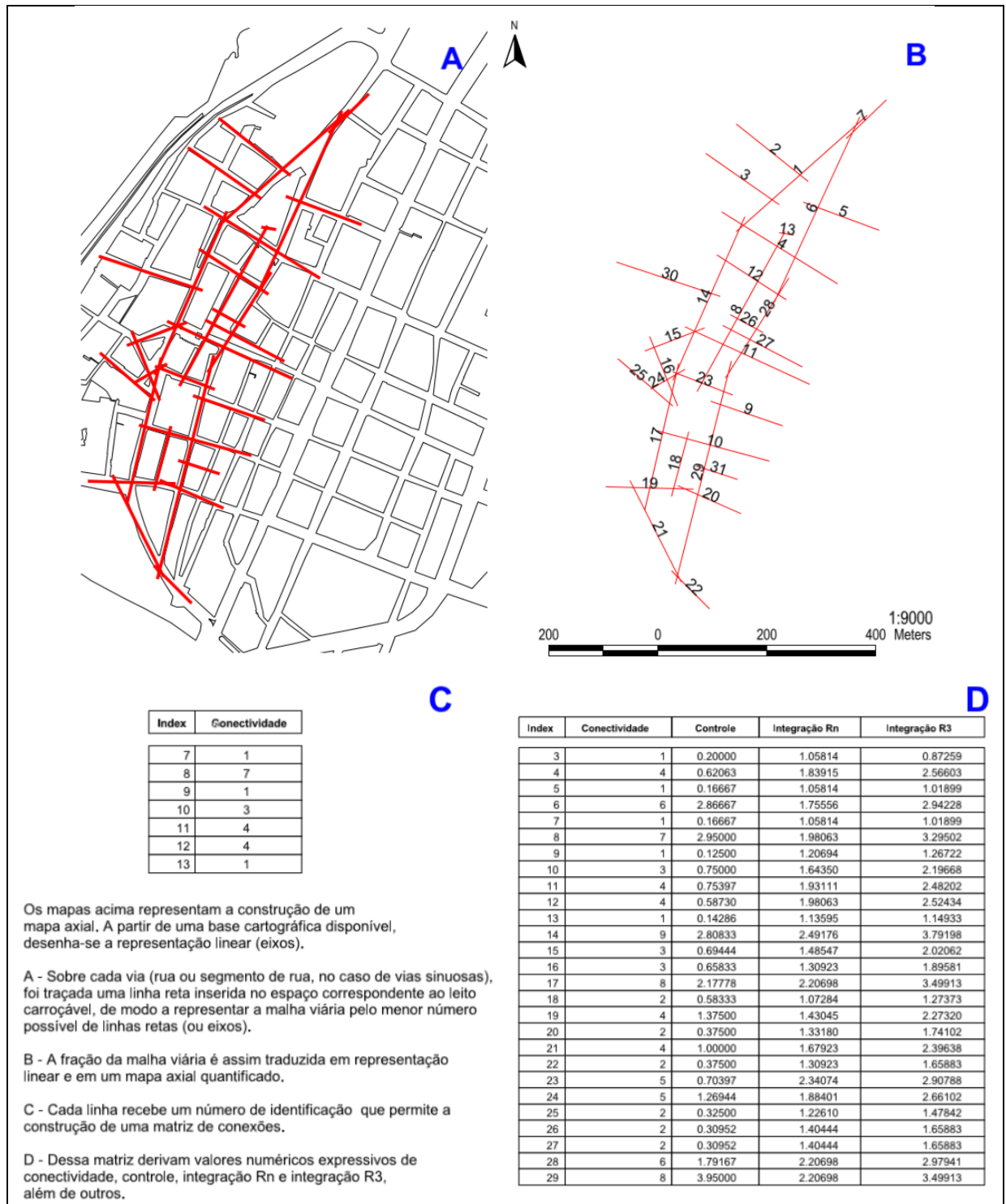


Figura 4.3: Etapas de construção de um mapa axial.

Fonte: MEDEIROS, 2013a

No presente trabalho, é dada ênfase a mensuração da acessibilidade topológica de cada linha, em relação às demais. O DEPTHMAP fornece dados gráficos e numéricos; nos gráficos as informações são dadas em cores que, quanto mais quentes (tendendo ao vermelho), indicam eixos mais conectados, mais integrados ou mais acessíveis, e quanto mais frias (tendendo ao azul escuro), indicam os menos conectados, menos integrados ou menos

acessíveis em relação a todos os eixos do sistema. As medidas gráficas de uma matriz de pontos podem ser calculadas para testar quantos pontos são necessários para de um ponto se visualizar outros. O DEPTHMAP também permite a análise por meio de mapas (ou grafos) de visibilidade representado por manchas cromáticas na planta baixa, conforme mostrado na Figura 4.4. A hierarquia das cores segue a mesma lógica já apresentada para as linhas axiais.

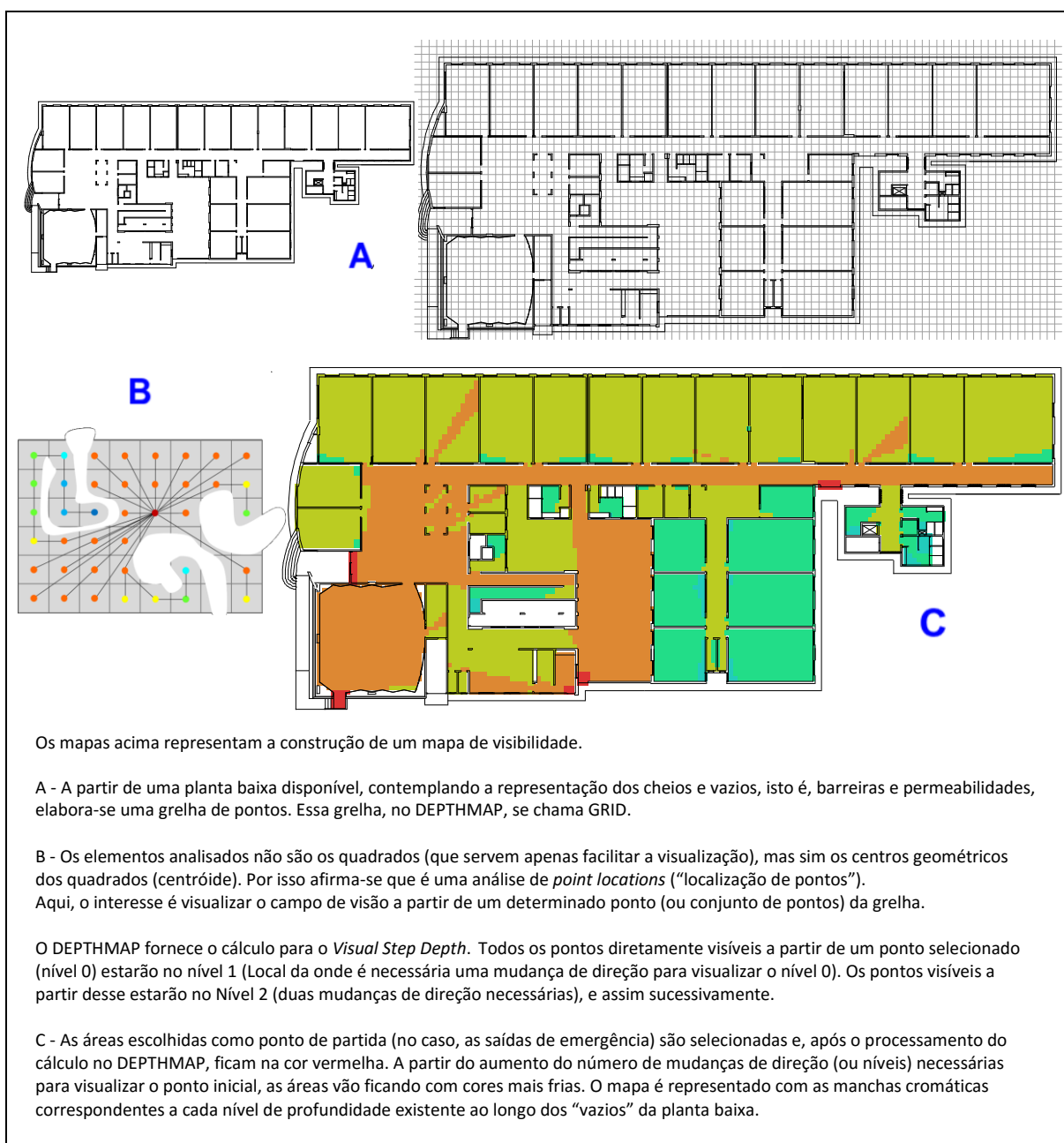


Figura 4.4: Etapas de construção de um mapa de visibilidade

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Para elaboração das linhas nas plantas baixas de um projeto arquitetônico e análise matemática das representações lineares, existem algumas possibilidades¹⁷, entre elas, a utilização de um *software* de base vetorial, o CAD e um *software* desenvolvido para a sintaxe do espaço. Neste trabalho, as linhas foram elaboradas no AUTOCAD® (2013) e posteriormente importadas para o DEPTHMAP® (2004). Quanto à malha para a disposição dos pontos do VGA, ela foi elaborada no próprio aplicativo da SE. Salienta-se que, nas simulações da pesquisa, foram descartados os ambientes de curta permanência (despensa, lixo, sala de quadros, gerador, etc.), uma vez que a ocupação é feita por um pequeno percentual dos usuários em curtos espaços de tempo, o que não influencia os resultados quanto ao potencial de movimento ali existente.

Diante da premissa explicitada pioneiramente por HILLIER e HANSON (1984) de que os deslocamentos humanos tendem a ser feitos em linhas que podem ser inseridas no espaço continuamente acessível, atravessando permeabilidades (espaços abertos, passagens, etc.), o mapa axial permite ler a acessibilidade na configuração espacial, traduzindo os conceitos de segregação e de integração topológica. Se são necessárias várias mudanças de direção para chegar a um espaço, ele é um espaço “segregado”, porém se são necessárias poucas mudanças de direção, ele é um espaço “integrado”. Esse conceito é de fundamental importância no estudo das saídas de emergência e fuga numa situação de incêndio. O mesmo assemelha-se à análise a partir do mapa de visibilidade, onde um campo visual mais integrado é aquele de onde se pode observar um maior número de pontos no sistema predial. Esses campos visuais permitem, por exemplo, a análise do posicionamento das saídas de emergência em cada andar das edificações estudadas.

Assim como qualquer técnica de representação, a linear e o VGA são simplificações da realidade. Nela, todos os espaços permeáveis do edifício – corredores, *halls* – são representados por eixos ou pontos interconectados: a conexão entre eles é fundamental para o processamento dos dados, já que se deseja obter o grau de relacionamento entre elementos ou potencial de permeabilidade, isto é, de acessibilidade topológica, de cada um dos eixos ou pontos que foram traçados a partir das saídas de emergência ou do meio externo à edificação.

A teoria da SE defende que o espaço gera propriedades mensuráveis, a partir da representação das plantas em mapas (ou grafos). As medidas calculadas no presente estudo

¹⁷ Softwares de geoprocessamento; Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em conjunto com *softwares* de ASE, etc.

são: Conectividade, Integração, Inteligibilidade, Profundidade e Visibilidade. Explicações a sobre cada uma delas estão no início das análises com o DEPTHMAP, no capítulo seguinte, ao longo da apresentação dos resultados da primeira edificação estudada.

As análises foram realizadas apenas diante das plantas baixas, de maneira bidimensional, não levando em consideração a movimentação vertical dos ocupantes no prédio. E, como já mencionado no capítulo introdutório, na apresentação da metodologia, as simulações computacionais realizadas têm como base cenários hipotéticos, cujos resultados foram comparados ao final do trabalho. Em cada um desses cenários, a configuração espacial das edificações estudadas permaneceu a mesma.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos, para cada um dos três estudos, as três diferentes análises efetuadas: análise normativa, simulação por meio do PATHFINDER e por meio do DEPTHMAP. O Quadro 5.1 apresenta um esquema dessas análises realizadas para cada uma das edificações, mostrando que apenas a simulação do cenário 2 por meio do DEPTHMAP não foi realizada para o Estudo 3, uma vez que este cenário não acarretou mudanças no resultado da Análise Sintática do Espaço – conforme está explicado adiante no item 5.3 do presente trabalho.

ANÁLISES	ESTUDO 1 (EC&T)				ESTUDO 2 (ENGENHARIAS)				ESTUDO 3 (ENFERMAGEM)			
NORMAS	✓				✓				✓			
PATHFINDER	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DEPTHMAP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	✓	✓
CENÁRIOS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Quadro 5.1: Esquema das análises realizadas para cada Estudo

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Para os dois programas computacionais, foram considerados quatro tipos de cenários de análise em cada projeto de edifício universitário. Os cenários são os mesmos nas simulações com o PATHFINDER ou com o DEPTHMAP. Em cada um deles, foram considerados o mobiliário apresentado pelo *layout* e a população total do edifício. Os cenários de investigação são:

- 1) Ocorrência de um incêndio em qualquer um dos ambientes (escadas consideradas como convencionais – não protegidas);
- 2) Ocorrência de incêndio em qualquer um dos ambientes (alguma escada desativada ou com modificações na sua largura);
- 3) Ocorrência de incêndio em qualquer um dos ambientes (escadas consideradas como enclausuradas – protegidas);
- 4) Ocorrência de incêndio em qualquer um dos ambientes com a criação de uma saída de emergência pelo último andar ou pela cobertura.

Essas soluções projetuais que podem, ou não, estar especificadas nas normas, juntamente com os resultados obtidos em cada simulação, permitem que sejam geradas considerações e discussões a respeito de cada cenário.

Em particular, no cenário 4, que considera uma saída de emergência a mais, merece que seja destacada a atenção que um projetista deve ter frente à aplicação de uma área de refúgio ou uma área na cobertura, tornando possível que as pessoas tenham acesso ao exterior da edificação. No presente trabalho, os cenários foram propostos a nível de simulação computacional. Devido ao foco da pesquisa, não houve preocupação com o dimensionamento das áreas e outras particularidades necessárias aos tipos de soluções projetuais comentados.

5.1. ESTUDO 1 (Prédio da EC&T)

5.1.1. Análise Normativa da edificação

O Quadro 5.2 apresenta as principais características do edifício relacionadas ao processo de abandono e às saídas de emergência, considerando os parâmetros de dimensionamento da NBR 9077:2001 e do código estadual com a IT 11:2014. A desconsideração de alguns itens do Código do CBMRN e IT 11 deve-se à sua semelhança com os dispositivos da NBR 9077. No quadro, a coluna “status” indica a avaliação do cumprimento ou não dos quesitos das normas. O “A” está para os itens atendidos, “F” para os itens falhos e “NA” para os não atendidos.

NORMA	PARÂMETRO		EM PROJETO	STATUS
-	Área total construída		6.841,40 m ²	-
NBR 9077	Classificação da edificação	Ocupação	Escolar (E-1)	-
		Altura	M-Edificação de média altura (6,00 < H ≤ 12,00)	-
		Dimensões em planta	Q – De grande pavimento R – Com pequeno subsolo W – Edificação muito grande (A > 5.000m ²)	-
		Características construtivas	Y - Edificação com mediana resistência ao fogo	-
	Cálculo da População – Tabela 5 da norma ou layout	Subsolo	13 pessoas	-
		Térreo	1.091 pessoas	-
		1º andar	809 pessoas	-
		2º andar	392 pessoas	-
		3º andar	146 pessoas	-
		Total	2.438 pessoas	-

	Larguras das escadas–Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 60 (809 ÷ 60 = 14 u.p.) / Largura mínima = 7,70m (valor total a ser distribuído entre as escadas)	Todas as 3 escadas com 2,20m de largura – total de 6,60m = 12 u.p.	F
	Larguras das descargas (acessos/corredores) * Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 100 Térreo = 6,05m / 1º andar = 4,95m / 2º andar = 2,20m / 3º andar = 1,10m	Térreo = 3,30m 1º andar = 2,85m 2º andar = 2,85m 3º andar = 2,70m	F F A A
	Larguras das portas no Térreo – Capacidade da u.p. = 100 (1.091 ÷ 100 = 11 u.p.) / Largura mínima = 6,05m (valor total a ser distribuído entre as portas de saída de emergência)	6 portas com 3,85m de largura e 1 porta com 2,00m = total de 25,10 m = 46 u.p.	A
	Distância horizontal máxima a ser percorrida até local seguro (área externa da edificação) - Mínima = 45m	Térreo = 32,0m 1º andar = 71,60m 2º andar = 85,10m 3º andar = 94,60m	A F F F
	Número de Saídas no pavimento de descarga – mínimo 2	7 saídas	A
	Número e tipos de Escadas – 2 EP (escada enclausurada protegida)	3 escadas NE (não enclausuradas)	A NA
	Área de Refúgio - Obrigatória em prédios educacionais - E - quando forem classificados em “W”	Não possui	NA
	Área de Refúgio - Obrigatória em prédios educacionais - E - quando forem classificados em “W”	Não possui	NA
CBMRN / IT 11	Larguras das escadas–Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 75 (809 ÷ 75 = 11 u.p.) / Largura mínima = 6,05m (valor total a ser distribuído entre as escadas)	Todas as 3 escadas com 2,20m de largura – total de 6,60m = 12 u.p.	A
	Distância máxima a ser percorrida até escada - a partir da porta da unidade mais distante com caminhamento interno < 10m Térreo = 75m Demais andares = 65m	Térreo = 32,00m 1º andar = 48,00m 2º andar = 46,00m 3º andar = 46,00m	A A A A
	Tipos de Escadas – NE	NE (não enclausurada)	A
* Nota da autora			

Quadro 5.2: Prédio da EC&T segundo parâmetros de dimensionamento prescritivo

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Após a elaboração do quadro 5.2 com as características segundo os parâmetros de dimensionamento, constatou-se que de acordo com o CBMRN a edificação cumpriu todas as obrigações listadas. Porém, em relação a NBR 9077 houve disparidades: na largura das escadas, dos corredores no térreo e primeiro andar; na distância máxima a ser percorrida até a área externa da edificação no primeiro, segundo e terceiro andar; no tipo das escadas; e na presença de uma área de refúgio.

O CBMRN, com a IT 11, especifica para esse tipo de edificação escadas convencionais, ou seja, não enclausuradas. Todavia, ao afirmar que as distâncias máximas a serem percorridas são para o usuário atingir um local de relativa segurança (espaço livre exterior, área de refúgio, área compartimentada, escada protegida ou à prova de fumaça entre outros), ela se contradiz, pois permite que edifícios de altura mediana – maior que 6m e menor ou igual a 12m – usem escadas não protegidas em suas rotas de fuga. Isso significa que os

ocupantes não atingirão a distância máxima estabelecida até um local seguro, mas somente alcançarão as escadas não protegidas de cada pavimento.

Uma vez que se levam em consideração as duas normas apresentadas, sempre a mais restritiva deve ser utilizada, portanto, a configuração mínima que o prédio deveria apresentar é conforme o que especifica a NBR 9077. Nesse sentido, na edificação em questão, por não existirem escada protegidas e enclausuradas, a distância máxima percorrida até um local seguro foi contabilizada como a distância que um usuário, em qualquer dos pavimentos, deverá percorrer do espaço mais afastado, passando pela escada mais próxima até que se alcance a área externa da edificação.

Nesse caso, a maior distância a ser percorrida é a do indivíduo que se encontra no terceiro andar, na sala indicada na Figura 5.1, e que se direcionará para a porta indicada na Figura 5.2. Ele precisa percorrer a distância de 94,60m até alcançar a saída no térreo.



Figura 5.1: Terceiro andar da EC&T - destaque para a sala e trajeto do indivíduo observado

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: Elaborado pela autora, 2015

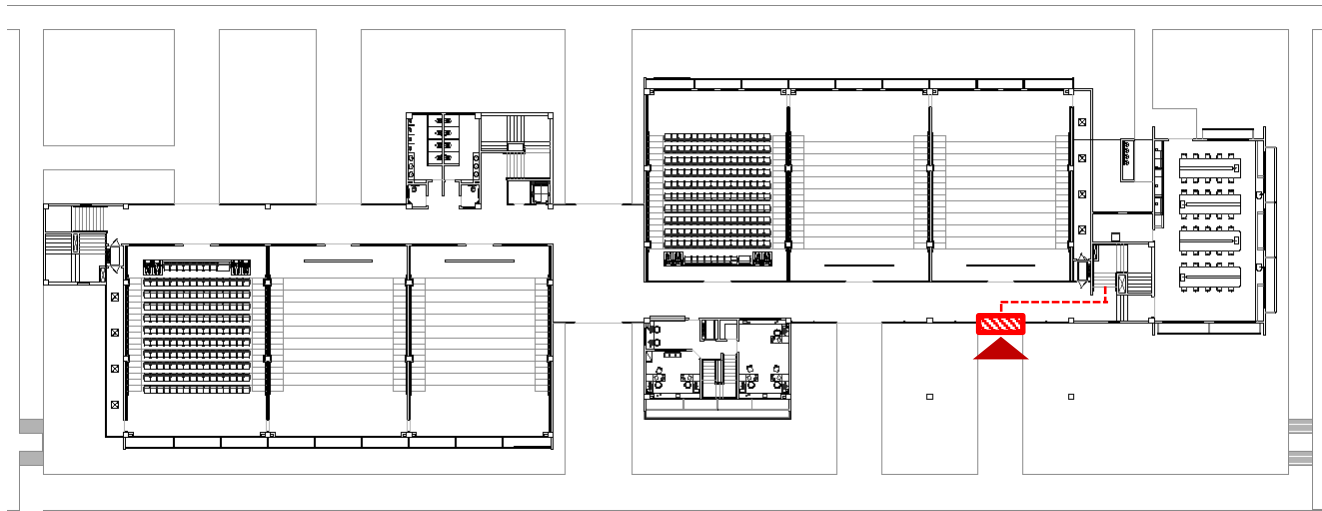


Figura 5.2: Térreo da EC&T - destaque para saída escolhida pelo indivíduo

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: Elaborado pela autora, 2015

As normas não abordam o comportamento humano e as possibilidades da escolha dos caminhos pelo ocupante. Para o escape, devido à proximidade da escada ao local onde o indivíduo se encontra ou pela facilidade de evacuação por uma menor concentração de pessoas fugindo do local, ele poderia escolher tanto a escada da direita, como a central. Considerou-se que o usuário faz a opção pela saída mais próxima, no caso a da direita, por ser o parâmetro de escolha estabelecido pelo PATHFINDER.

Este cenário apresentado faz parte de um dos quatro simulados para essa edificação, que se apresentam no total como:

- Cenário 1: Ocorrência de incêndio no laboratório de química no térreo – as três escadas convencionais livres;
- Cenário 2: Ocorrência de incêndio no laboratório de física e eletrônica no segundo andar – escada da esquerda desativada;
- Cenário 3: Ocorrência de incêndio aleatório – escadas enclausuradas;
- Cenário 4: Criação de uma saída de emergência pela cobertura.

5.1.2. Simulações do edifício 1 (Escola de Ciência e Tecnologia) com o PATHFINDER

A configuração da modelagem do edifício 1 por meio do PATHFINDER está apresentada nas figuras 5.3 e 5.4, no qual é possível visualizar a maneira como as plantas baixas se dispõem quando são importadas para o programa e a representação dos ocupantes quando distribuídos pelos ambientes. Não se faz necessário a apresentação desta modelagem para as demais edificações, uma vez que o modo como as simulações são realizadas se configura de maneira semelhante.

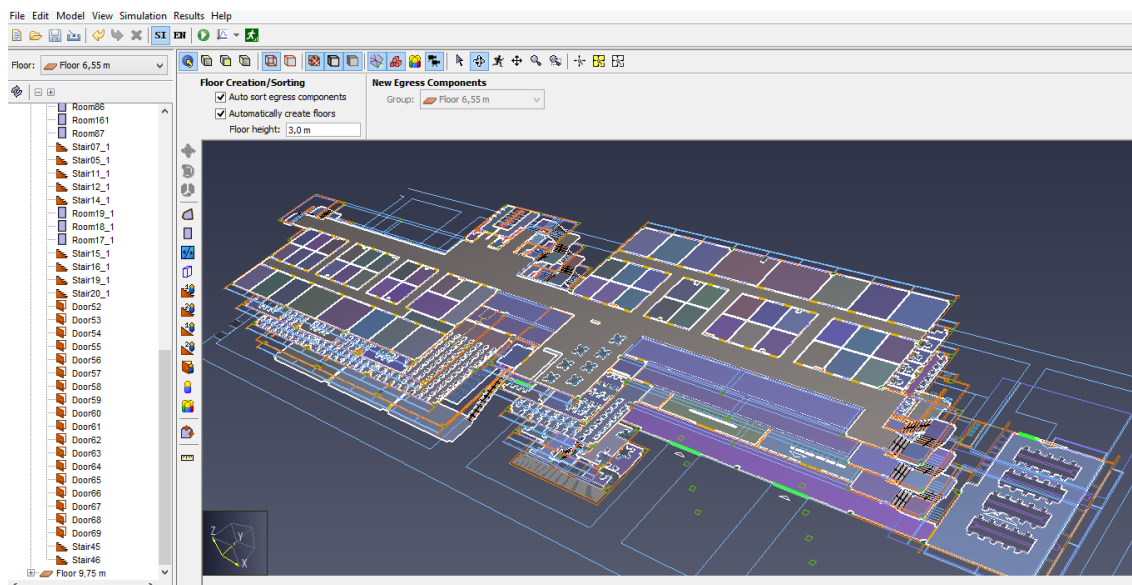


Figura 5.3: Plantas da EC&T importadas no PATHFINDER

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

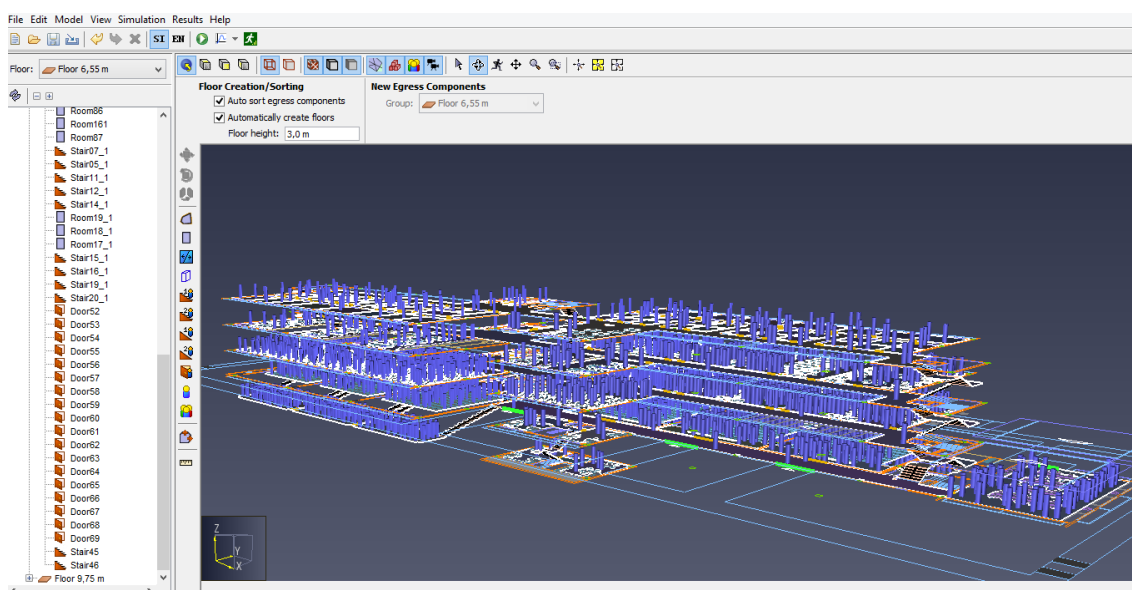


Figura 5.4: Modelagem do projeto da EC&T com os ocupantes em forma de cilindros

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

As informações para as simulações do Estudo 1 estão contidas no Quadro 5.3. Na sequência estão dispostos os resultados e discussões para cada cenário simulado.

Modo	Cenário	Parâmetros gerais
<i>Steering</i>	1, 2, 3 e 4	<ul style="list-style-type: none"> - Todos os ocupantes se dirigirão à saída mais próxima - Presença de mobiliário conforme <i>layout</i> do projeto - Número de ocupantes (2.438) distribuídos pelos ambientes conforme <i>layout</i> existente na planta ou cálculo com base nas normas - População inserida nos ambientes randomicamente - Todas as saídas estão abertas; - Tempo de pré-movimento padrão estabelecido pelo PATHFINDER - Todos os ocupantes caminham a uma mesma velocidade = 1,3 m/s

Quadro 5.3: Informações para as simulações realizadas - EC&T

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 1 – Escadas convencionais e livres – EC&T – PATHFINDER

Feita a primeira simulação com o cenário 1, tem-se os resultados apresentados no Resumo (*Summary*), contendo densidade, tempos de saída máximo e mínimo, tempo de saída de cada ambiente e fluxo dos ocupantes (Tabela 5.1)¹⁸. As informações dos tempos de saída (“*LAST OUT*”) de cada componente correspondem ao usuário observado que se encontra no ambiente mais afastado de uma das saídas no térreo.

Tabela 5.1: Resumo da Simulação do Estudo 1 – Cenário 1 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 1 – Cenário 1			
Mode:	Steering			
Total Occupants:	2.438			
Exit Times (s):				
Min:	1,2			
Max:	239,9			
[Components] All:	462			
[Components] Doors:	219			
Startup Time:	0,1s			
ROOM / DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
Floor 0,15 m-> Door23	1,3	189,9	580	2,43
Floor 9,75 m-> Stair07_1	34,1	183,0	40	
Floor 9,75 m->Door113	4,5	5,7	2	1,74
Floor 9,75 m-> Room142	0,0	6,0	2	

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

¹⁸ Todas as tabelas com resultados do PATHFINDER foram mantidas conforme originais fornecidas pelo *software*.

Os resultados apresentados na Tabela 5.1 estão relacionados aos elementos mostrados anteriormente nas Figuras 5.1 e 5.2, cujas sala e porta destacadas correspondem respectivamente aos componentes “Room142” e “Door23” na simulação. A porta “Door113” que separa a sala indicada (Room142) do corredor e a escada do terceiro andar localizada na extremidade direita da planta, para onde o usuário se locomoveu, é a “Stair07_1”. Caso ela fosse enclausurada, o indivíduo já estaria seguro quando a alcançasse. Mas, como a mencionada escada é convencional, ele precisou alcançar a porta “Door23” para chegar ao local protegido, o meio externo à edificação. Os números que acompanham cada piso (Floor) indicam as cotas dos mesmos. O “Floor 0,15 m” corresponde ao andar térreo e “Floor 9,75 m” ao segundo andar.

É possível igualmente aferir o tempo total de retirada por meio do gráfico apresentado na Figura 5.5, o qual mostra o número de ocupantes que permanecem e que saem dos componentes conforme o passar do tempo (em segundos). A linha na cor verde mostra os remanescentes e a da cor lilás os que abandonaram a sala ou que passam por uma determinada porta ou escada, a depender do elemento escolhido para análise. No caso, optou-se por mostrar o número de ocupantes saindo da edificação durante o tempo total de evacuação.

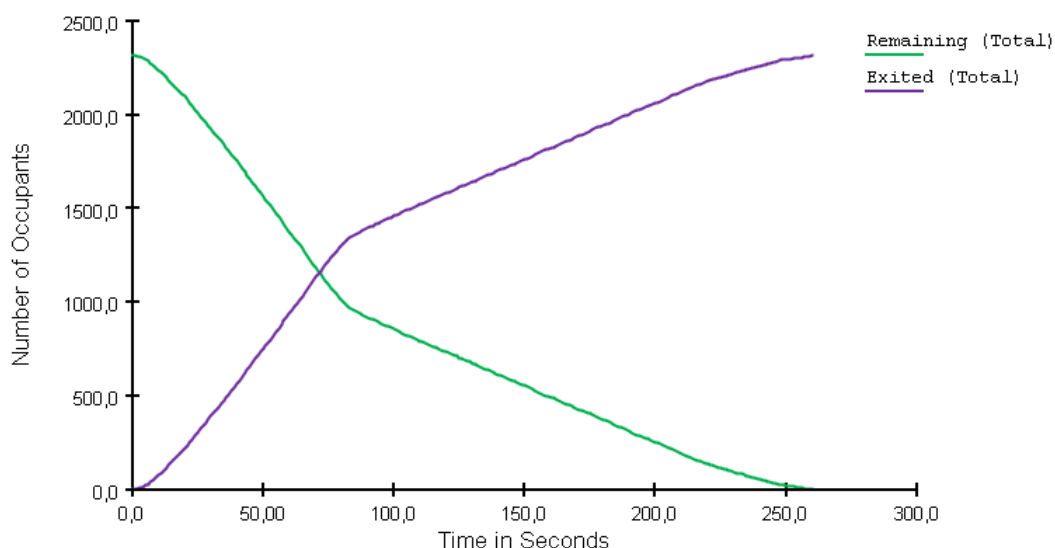


Figura 5.5: Gráfico com o tempo total de retirada - EC&T

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

No gráfico, é possível verificar que, em torno dos 70 segundos, o número de ocupantes que já conseguiu sair da edificação é igual ao dos remanescentes. Metade da população ainda tenta sair e o tempo até o escape completo da última pessoa vai aumentando até que se chegue ao tempo de escape total. A demora na evacuação para os ocupantes restantes

acontece devido a aglomeração de pessoas provenientes dos pavimentos superiores que se locomovem para o piso de descarga (Figura 5.6).



Figura 5.6: Aglomeração dos ocupantes próxima às escadas – EC&T

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Presumiu-se, anteriormente, que houvesse dificuldade na evacuação dos ocupantes no térreo, devido ao grande número de pessoas ali presente e que viriam dos outros pavimentos. Todavia, verificou-se que com a simulação, na verdade, a maior **aglomeração** de pessoas e, conseqüentemente, o **aumento no tempo de fuga** se deu no primeiro andar, devido à alta densidade de usuários nas escadas. Essas pessoas são provenientes dos pavimentos superiores ou do próprio andar em questão, como mostrado nas figuras 5.7 e 5.8, no qual o tempo de simulação contabilizado é o mesmo (70 segundos), porém a aglomeração dos que ainda não conseguiram sair é muito maior no primeiro andar.

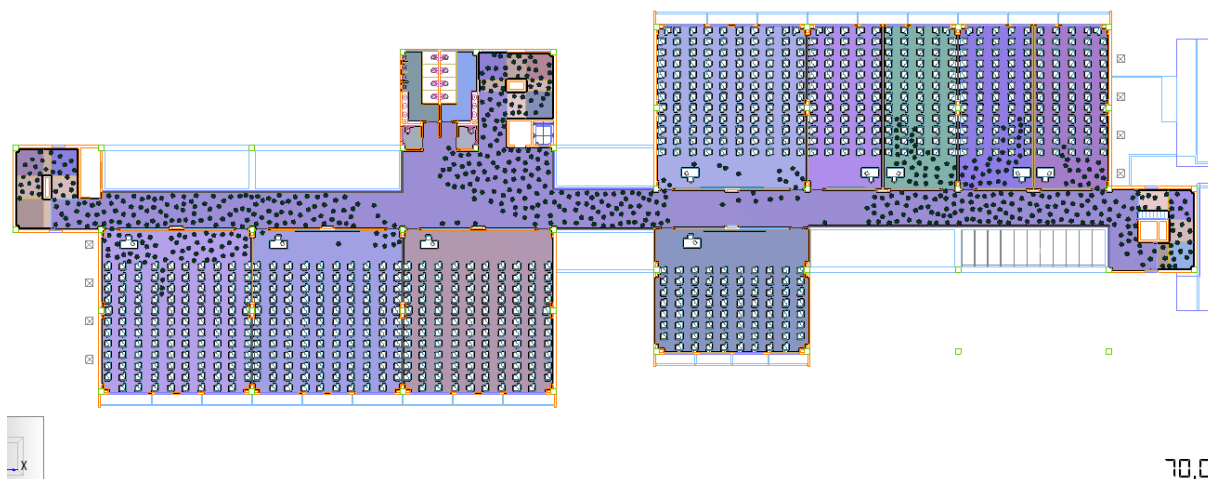


Figura 5.7: Primeiro andar da EC&T com maior aglomeração de pessoas

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

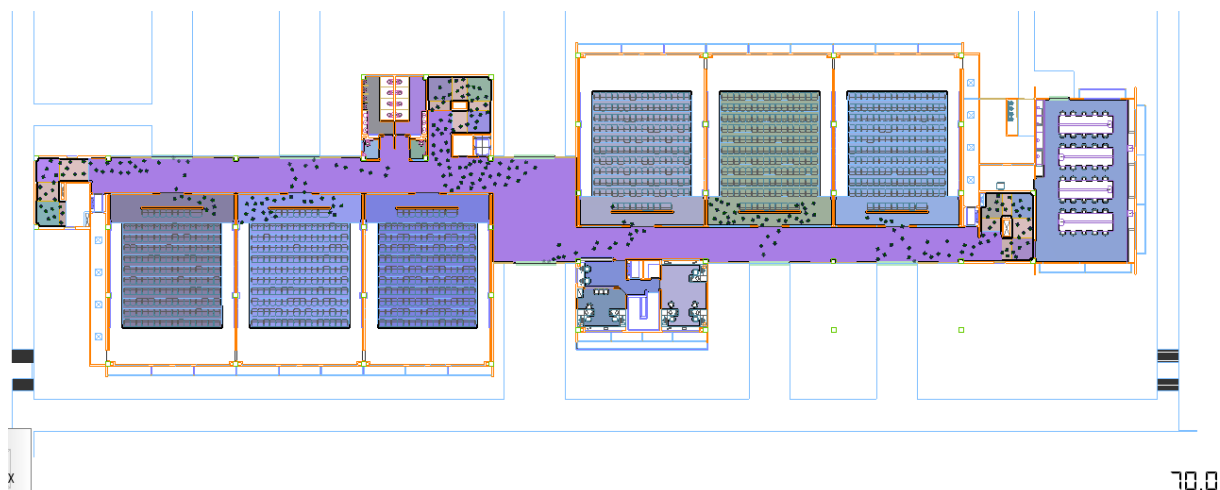


Figura 5.8: Andar térreo da EC&T sem aglomeração de ocupantes

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Um dos últimos ocupantes a alcançar o meio exterior, saindo pela porta “Door23” – indicada na Figura 5.2 – fará isso após 189,9 s, ou seja, 3,16 minutos – como visto na Tabela 5.1. Esse usuário, porém, não foi o último a abandonar a edificação. O tempo máximo de saída foi de 239,9 segundos (4 minutos). Apesar de se encontrar a uma maior distância métrica da saída no térreo, tal distância não foi o único fator responsável pelo aumento do tempo de evacuação. Por meio da simulação, foi possível perceber que a aglomeração nos corredores principais e nas escadas foi o principal motivo por um alto tempo de fuga. Como o usuário observado se localiza em uma sala do terceiro andar, seu escape encontra-se comprometido por essa aglomeração. De qualquer maneira, se ambos os tempos, o do usuário e o tempo total de escape, forem comparados com o tempo estabelecido pela *NBS Building Regulations*, de 2,5 minutos, estão aquém do ideal.

CENÁRIO 2 – Escada da esquerda desativada – EC&T – PATHFINDER

No segundo cenário, optou-se por simular um incêndio no laboratório de física e eletrônica localizado na extremidade esquerda do segundo andar, onde a escada da esquerda fica impossibilitada de uso tanto para os ocupantes do laboratório, como para os demais, supondo-se que a fumaça se espalharia por essa direção e comprometeria a descida de pessoas. Os resultados da simulação são apresentados na Tabela 5.2 e se referem às mesmas escadas e saída para o exterior da edificação do cenário anterior.

Tabela 5.2: Resumo da Simulação do Estudo 1 – Cenário 2 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 1 – Cenário 2			
Mode:	Steering			
Total Occupants:	2.438			
Exit Times (s):				
Min:	1,2			
Max:	369,9			
[Components] All:	452			
[Components] Doors:	212			
Startup Time:	0,1s			
ROOM / DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
Floor 0,15 m-> Door23	1,2	317,5	727	2,30
Floor 0,15 m-> Stair01	9,4	309,4	555	1,86
Floor 9,75 m-> Stair07_1	1,5	37,0	41	1,19

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Conforme visto, o último ocupante a passar pela mesma saída do cenário 1, a “Door23”, fará isso em 317,5 segundos (5,29 minutos). Esse tempo é insatisfatório, principalmente por dois motivos:

- Devido ao prédio possuir altura mediana e não ser considerado como um edifício de grande altura, o que poderia justificar a demora em escapar do prédio. Porém, mesmo nesse caso hipotético, as escadas seriam enclausuradas, o que não acontece com o prédio em questão e aumenta ainda mais o nível dos riscos para os usuários.
- Pelo fato de que somado a esse tempo final, deve haver ainda o tempo de pré-movimento, que foi desconsiderado nas simulações.

Presumiu-se que o tempo de escape seria maior com uma das escadas desativadas e isto, de fato, foi atestado pela simulação. No entanto, a constatação mais importante a partir da análise desse resultado, juntamente com o resultado proveniente do Cenário 1, é a presença de uma lacuna nas normas no que diz respeito à quantificação das escadas. Afinal, o dimensionamento leva em consideração o número de ocupantes apenas de maneira indireta, a partir das dimensões em planta da edificação. Por essa quantidade gerar muita influência

no tempo de escape, faz-se aqui uma indicação preliminar para uma possível revisão das normas de SCI quanto a esse parâmetro.

CENÁRIO 3 – Escadas enclausuradas – EC&T – PATHFINDER

Este cenário envolve a situação hipotética de um incêndio ocorrendo em qualquer localização do prédio. Todavia, considera as escadas como protegidas, admitindo a adaptação do projeto aos requisitos da NBR 9077:2011 quanto à exigência de escadas enclausuradas.

Vale mencionar que, para as simulações no PATHFINDER, as passagens para as escadas enclausuradas não tiveram suas larguras diminuídas como se houvessem portas corta-fogo. As larguras das passagens permaneceram as mesmas. Caso tivessem sido diminuídas, os valores obtidos quanto ao tempo total de escape, seriam ainda mais elevados.

Devido às escadas serem protegidas, não foi necessário analisar as últimas pessoas a saírem da edificação e os tempos de escape para alcançar uma das portas de saída no andar térreo, pois elas, como consta na NBR 9077:2001, já são um local protegido para os usuários. Dessa maneira, na Tabela 5.3 são apresentados os tempos dos últimos ocupantes a acessarem cada bloco de escada da edificação (“*Stair04*”, a escada da direita, “*Stair20*”, a central e “*Stair10*” a da esquerda) na coluna “*LAST IN*”.

Tabela 5.3: Resumo da Simulação do Estudo 1 – EC&T – Cenário 3 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 1 – Cenário 3		
Mode:	Steering		
Total Occupants:	2.438		
Exit Times (s):			
Max:	234,5		
Startup Time:	0,1s		
ROOM / DOOR	LAST IN (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
-----	-----	-----	-----
Stair04	217,6	408	1,89
Stair20	234,5	475	2,07
Stair10	192,1	396	2,12

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

De acordo com os resultados, os últimos ocupantes a estarem protegidos alcançaram a escada central em 234,5 segundos (3,9 minutos). Nessa situação, cujas escadas foram

consideradas enclausuradas, o tempo de escape foi melhorado consideravelmente. Mesmo com a aglomeração nelas durante a metade do tempo final, devido à presença dessas escadas protegidas o tempo com que o último usuário se manteve livre dos efeitos do incêndio foi muito menor quando comparado com as simulações anteriores – as quais representam o que, de fato, foi colocado em prática no projeto arquitetônico. Contudo, apesar de ser um tempo menor, ainda se encontra insatisfatório, quando comparado aos 2,5 minutos estabelecidos pela NBS.

CENÁRIO 4 – Saída pela cobertura – EC&T – PATHFINDER

A última simulação no PATHFINDER para esse edifício considera mais um dos critérios exigidos pela NBR 9077 que não foi atendido, a presença de uma área de refúgio. Este cenário admite o acréscimo de outra alternativa para saída e optou-se por fazê-la na cobertura, considerando a escada, com a mesma largura das demais, já existente para a laje técnica. A Tabela 5.4 mostra os resultados para o cenário 4 e, a figura 5.9 a simulação dos usuários no momento de evacuação do prédio.

Tabela 5.4: Resumo da Simulação do Estudo 1 – EC&T – Cenário 4 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 1 – Cenário 4
Mode:	Steering
Total Occupants:	2.438
Exit Times (s):	
Min:	1,3
Max:	233,8
Startup Time:	0,1s

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

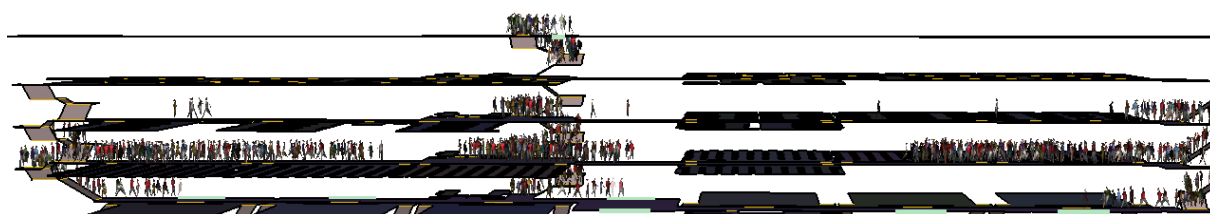


Figura 5.9: Momento de abandono do prédio da EC&T no cenário 4 – PATHFINDER

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

O mais importante na análise dessa situação é o tempo final de escape para a última pessoa que abandona o prédio. Esse tempo foi de 233,8 segundos (3,89 minutos). Com a ideia inicial de que a presença de uma saída a mais pela cobertura diminuiria esse tempo

consideravelmente, constatou-se a partir dos resultados que, na verdade, ele foi **pouco influenciado**. Em relação ao cenário 1, a diferença entre eles foi de apenas 13 segundos, o que não justificaria, nesse caso, a instalação de uma saída a mais pela cobertura.

5.1.3. Simulações do edifício 1 (Escola de Ciência e Tecnologia) com o DEPTHMAP

CENÁRIO 1 – Escadas convencionais e livres – EC&T – DEPTHMAP

No Cenário 1 de cada edificação é onde foram realizadas as análises axiais de conectividade, integração e inteligibilidade, uma vez que as informações obtidas nessas simulações apenas para o primeiro cenário, já são suficientes para os objetivos que conduzem a pesquisa.

A primeira medida da ASE a ser apresentada é a Conectividade. Ela descreve a relação de cada espaço com seus vizinhos, mostrando o quanto um espaço está ligado a outros espaços imediatos. É considerada uma medida local.

Numa estrutura espacial de, por exemplo, se cada um se conectar a dois outros (o valor de conectividade é 2 para todos); e na estrutura espacial em que um dos espaços media o acesso entre os outros dois espaços, somente um deles se conecta aos outros dois, enquanto os demais apresentam valor 1 de conectividade. Pode-se observar os exemplos para essa explicação na Figura 5.10. Um espaço muito conectado indica um alto potencial de presença de pessoas, o que pode vir a influenciar a movimentação delas, inclusive a fuga em uma situação de incêndio, por exemplo. Essa e outras considerações foram feitas ao longo das análises para cada edificação.

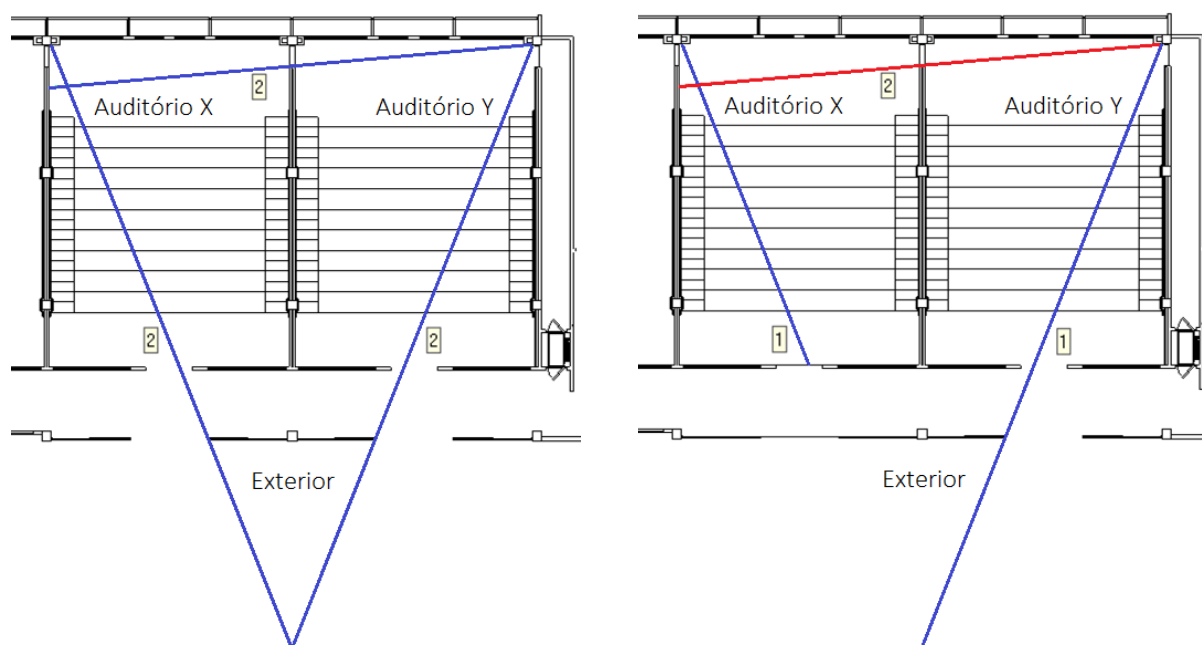


Figura 5.10: Representação de configurações espaciais com variações de conectividade entre seus ambientes
Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Em se tratando do prédio da EC&T, e considerando para todos os cenários as sete saídas para o exterior (no térreo) abertas, verificou-se a conectividade entre os ambientes dos quatro andares. Fez-se a ligação entre as plantas de cada andar conforme ilustra a Figura 5.11, retirada do próprio DEPTHMAP – o mesmo foi feito com as demais edificações estudadas. Com isso, o sistema a ser analisado torna-se o prédio como um todo e não cada andar em separado.

Em vermelho destacam-se os eixos que representam os corredores de circulação do andar superior como os espaços mais conectados do sistema. Em detalhe, nas Figuras 5.12 e 5.13, é possível verificar as linhas mais e menos conectadas, atentando-se para as cores da legenda: quanto mais tendem ao vermelho, maior o número de conexões do eixo, e quanto mais tendem ao azul escuro, menor essa conectividade.

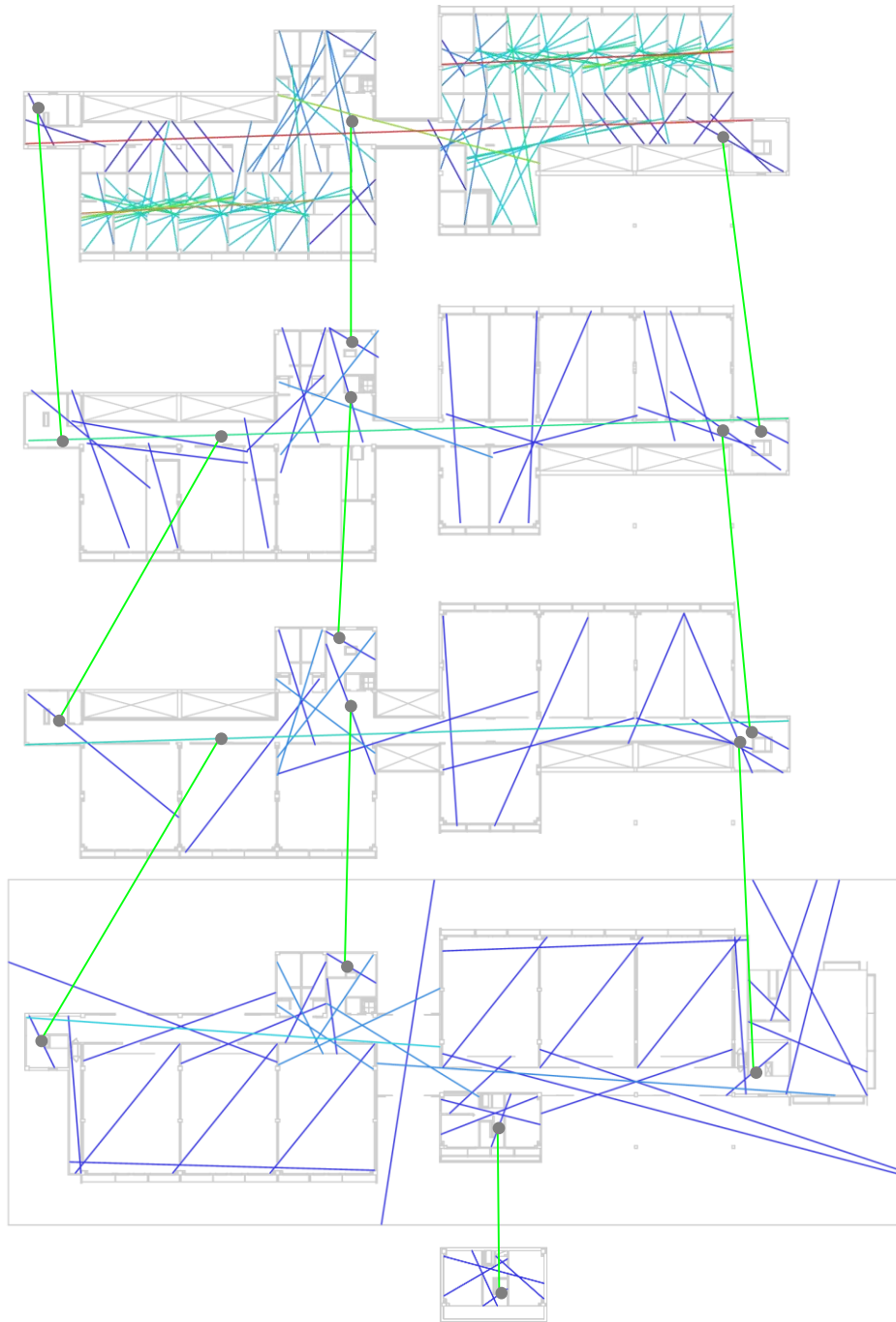


Figura 5.11: Ligação entre os andares da edificação

Fonte: DEPTHPMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

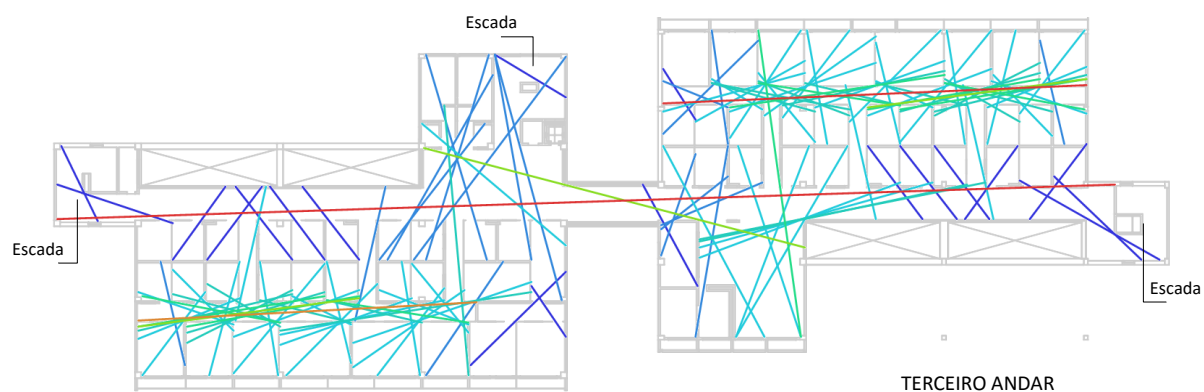


Figura 5.12: Mapa axial de conectividade do terceiro andar – EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

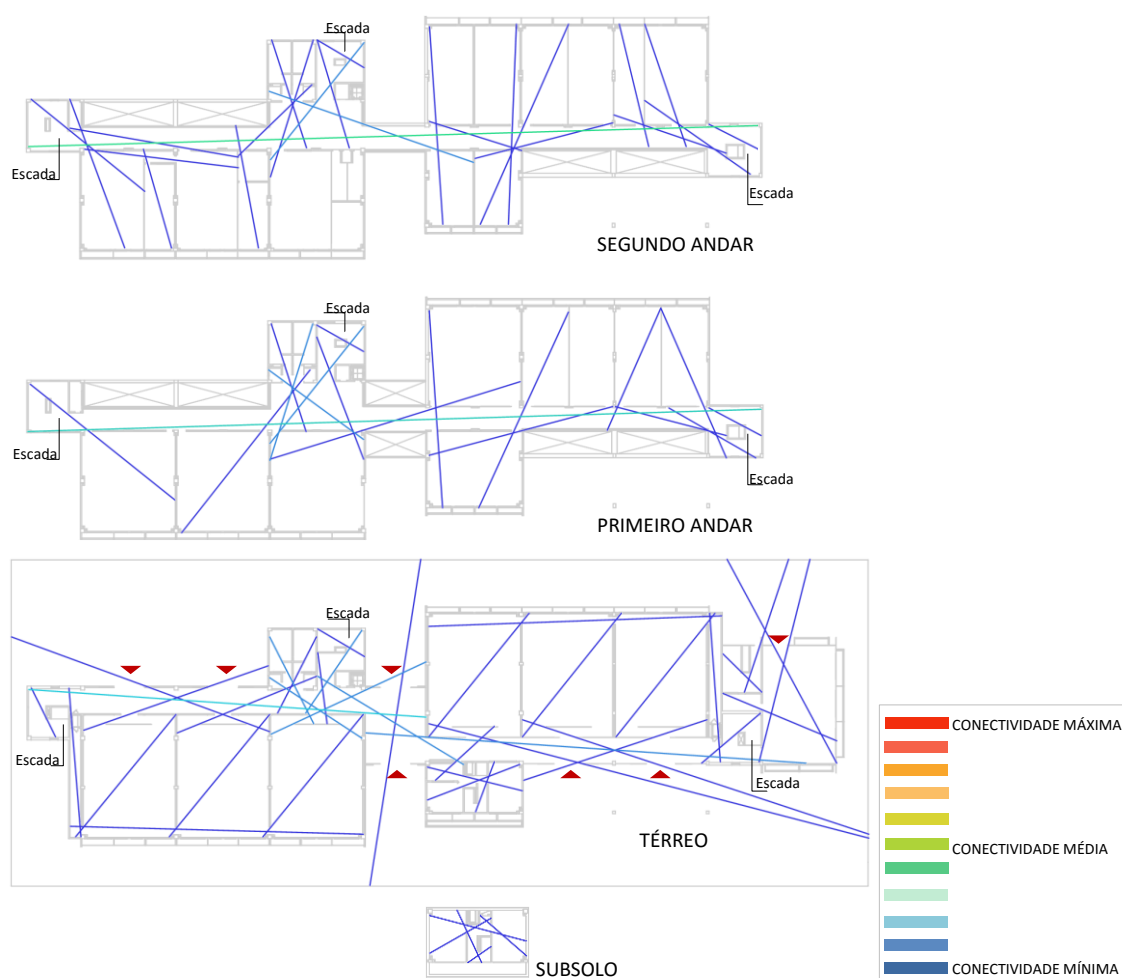


Figura 5.13: Mapa axial de conectividade dos demais andares, com indicação das saídas no térreo – EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Desse modo, a linha mais conectada se encontra no terceiro andar, visto em detalhe na Figura 5.12, no corredor, o eixo central do piso, o qual conecta os vários compartimentos; já a menos conectada encontra-se no primeiro andar, localizada, mais precisamente, em uma área técnica utilizada primordialmente por funcionários de manutenção.

O mapa axial de conectividade mostra a presença de poucos e grandes eixos mais conectados, o usual em sistemas espaciais. Isto confirma que esses eixos ligam a maioria dos ambientes do edifício. Um usuário tem mais possibilidades de exploração e de se locomover para outros ambientes estando em um desses trechos, nos quais:

- As pessoas têm melhor noção de outros espaços pela conexão visual e melhor senso de localização, principalmente quando já são familiarizadas com a edificação, como é o caso para a maioria dos ocupantes do Estudo 1 – EC&T: alunos e professores.
- Há muitas possibilidades de caminhos, o que, para o objetivo de evacuar o prédio, pode não ser interessante, uma vez que a principal meta é direcionar o usuário até a saída sem que ele se perca no percurso ou fique em dúvida sobre qual caminho tomar.
- É necessária uma boa sinalização de emergência.
- Em caso de incêndio, um usuário precisa ser direcionado para uma saída de emergência e a possibilidade da existência de muitas opções de direcionamentos para diferentes lugares pode vir a prejudicar a sua fuga. (Este não é o caso do Estudo 1 – EC&T, na qual tais eixos são os corredores principais que se conectam com os três blocos de escadas, ou seja, as três possibilidades de saída de cada andar. Estando em um deles, as pessoas não encontrarão dificuldades para se orientarem quanto ao posicionamento das saídas de emergência).
- Há maior probabilidade de mais pessoas se deslocarem para eles; então, durante um escape, é importante que as saídas de emergência estejam conectadas com os mesmos (como acontece no Estudo 1 – EC&T). No entanto, caso isso aconteça, a aglomeração de pessoas tende a ser maior nesses eixos, o que pode gerar uma dificuldade no escoamento e aumento no tempo total de abandono.

É a partir dos valores de conectividade que são calculados os valores da próxima medida a ser apresentada, a Integração – comumente denominada “Integração HH”¹⁹. Esse valor mede o potencial de acessibilidade de um espaço em relação a todos os demais espaços de um sistema. Tal medida se relaciona com a tendência de movimento das pessoas em perspectiva do sistema como um todo, enquanto a primeira medida apresentada, a conectividade, é de caráter local.

No conceito de integração a ideia de profundidade é utilizada para definir um espaço em relação a todos os outros espaços no sistema. Por isso, é tanto topológico quanto global. Um espaço é dito integrado quando todos os outros espaços do edifício são relativamente pouco profundos a partir dele, ou seja, eles são aqueles mais permeáveis e acessíveis no espaço, de onde mais facilmente se alcançam os demais. Assim, a partir de um espaço com um elevado valor de integração, menos mudanças de direção são necessárias a fim de se chegar aos outros espaços – no caso, eixos. O valor de integração mede a posição relativa de qualquer espaço ou linha axial com respeito à configuração geral do edifício.

Quanto mais integrado, mais o espaço tende a ter movimentação, o que indica que ele, em uma situação de incêndio, deve receber maior atenção nos quesitos que influenciarão a segurança das pessoas ali presentes, como uma boa localização no projeto, boa sinalização de emergência, entre outras medidas. As linhas menos integradas se caracterizam como um trecho segregado e com baixo potencial de movimento; também de baixo potencial de acessibilidade.

Na figura 5.14 observa-se que, na edificação da EC&T, as linhas menos integradas encontram-se no subsolo; já as mais integradas de cada andar correspondem aos grandes corredores centrais e, em seguida, às escadas. Esse dado demonstra o óbvio. Lugares como corredores e escadas, especialmente em uma situação de fuga, retêm um maior número de pessoas em movimento. São lugares acessíveis e suas localizações e dimensionamentos devem ser estratégicos quando se trata da segurança contra incêndio.

¹⁹ As letras HH foram associadas devido aos criadores da ferramenta, Hillier e Hanson.

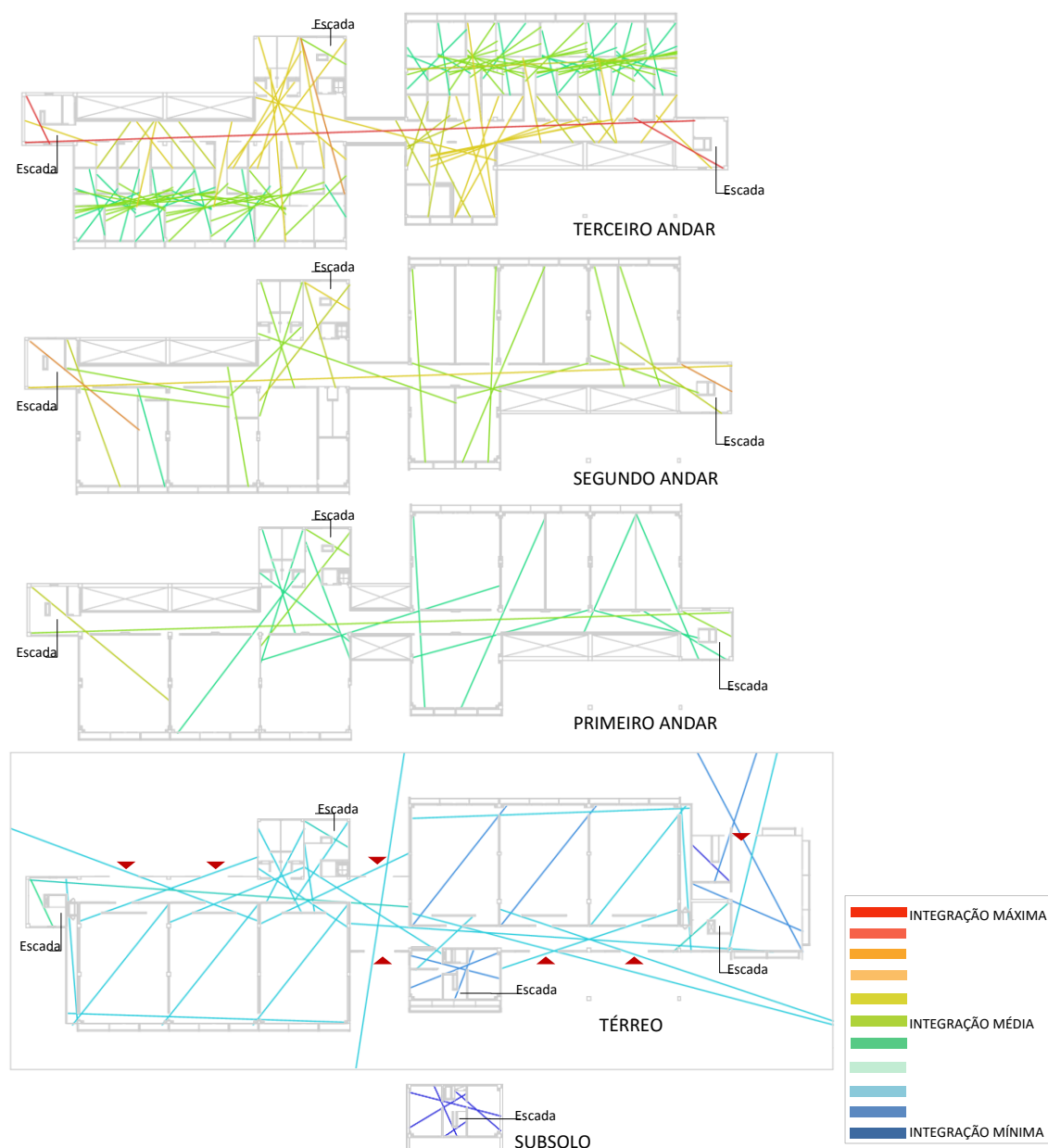


Figura 5.14: Mapa axial de integração HH com indicação das saídas no térreo - EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Para a situação específica do prédio da EC&T, outros fatores de análise devem ser considerados, como os tipos de usuários presentes na edificação e a distribuição desses pelos pavimentos. A integração de um ambiente indica o seu potencial de movimento, porém esse potencial pode não corresponder à realidade, a depender de outros fatores, por exemplo: quando ambientes menos integrados servem para acomodar um maior número de pessoas. Esse é o caso do térreo, que abriga grandes anfiteatros contendo 173 usuários cada um, 43% da população do prédio. Certamente ali, a movimentação de pessoas será intensa em

determinados momentos. Tais espaços são considerados como atratores ou magnetos capazes de sobrepujar o potencial gerador de movimento da configuração espacial.

Entende-se que quanto maior a correlação entre conectividade e integração, mais inteligível é o sistema de espaços em consideração, pois, nesse caso, a pessoa que se percebe bem conectada em termos locais, está, também, bem integrada ao sistema global.

Essa correlação, no geral, é um método estatístico que explica o quanto a variabilidade de um fator pode ser explicada pela sua relação com outro fator. Ela é utilizada em análises de tendências, para definir a força e a natureza da relação linear entre duas variáveis, características, atributos ou quantidades. O número estatístico usado para descrever relações lineares entre duas variáveis é chamado coeficiente de relação, r ²⁰. E essa correlação é medida com um valor entre 0 (0%) e 1 (100%). Entende-se que, quanto maior for o valor, melhor o ajuste entre as variáveis. Entretanto, diante das análises contidas na presente pesquisa, sentiu-se a necessidade de estabelecer um parâmetro de comparação entre o que seria um forte ou fraca correlação.

Algumas colocações²¹ defendem que uma correlação maior do que 0,8 é geralmente descrita como forte, ao passo que uma correlação inferior a 0,5 é usualmente descrita como fraca. Outros²², sugerem que valores entre 0,7 e 0,8 indicam correlação moderada, enquanto os que tendem a 0, são de baixa e os que tendem a 1 são de alta correlação. Estes valores podem variar de acordo com os dados que estão sendo examinados. Contudo, aqui, adotou-se como parâmetro o guia apresentado por EVANS (1996), que estabelece valores qualitativos para os coeficientes de correlação no Quadro 5.4:

Valore de “r”	Descrição qualitativa
0.00 – 0.19	Muito fraca
0.20 – 0.39	Fraca
0.40 – 0.59	Moderada
0.60 – 0.79	Forte
0.80 – 1.00	Muito forte

Quadro 5.4: Descrição qualitativa para valores de correlação

Fonte: EVANS (1996), disponível em <http://www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/pearsons.pdf>

²⁰ O coeficiente de correlação aqui referenciado é o *Person's product moment correlation coefficient* (PPMC), em criado por Karl Pearson, pioneiro da pesquisa nesta área.

²¹ <http://mathbits.com/MathBits/TISection/Statistics2/correlation.htm>

²² http://www.pindling.org/Math/Statistics/Textbook/Chapter3_Regression_Correlation/Chapter3_Regres_Corr_Overview.htm#Figure 3.2c

O gráfico, na figura 5.15, mostra que a correlação entre as duas medidas configuracionais, tomando por sistema a edificação como um todo, é baixa, no valor de 0,13, ou seja, de 13%. Apenas três linhas, que passam pelos corredores principais do terceiro andar, aproximam-se de altos valores de integração correspondendo a altos valores de conexão.

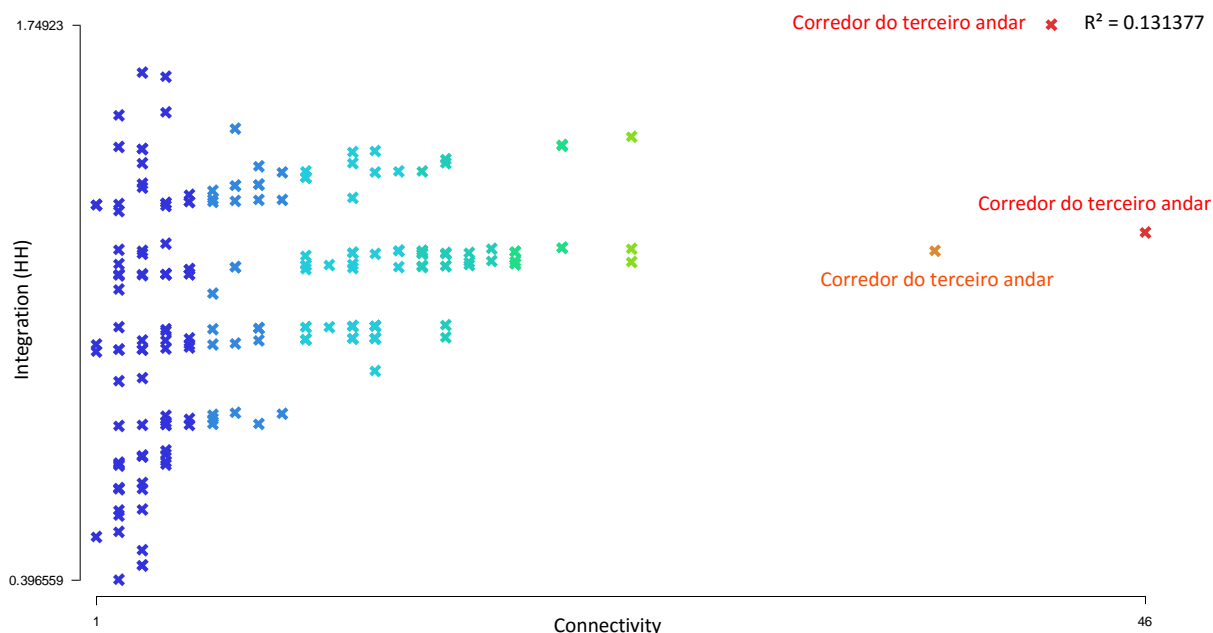


Figura 5.15: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para todo o sistema – EC&T
Fonte: DEPTHMAP, 2004

Como a inteligibilidade, teoricamente, está relacionada aos acessos, espaços e sistemas mais compreensíveis, diante do resultado exposto na figura 5.15, o edifício não deveria ser considerado inteligível. Porém, esse resultado tem como base o cálculo para todo o sistema, considerando todos os pavimentos. Ao realizar o cálculo para cada um dos andares de maneira separada, com cada um deles sendo um sistema isolado, pode-se verificar que os valores dessa correlação mudam e revelam uma configuração mais inteligível, principalmente para os três primeiros andares (Figura 5.16).

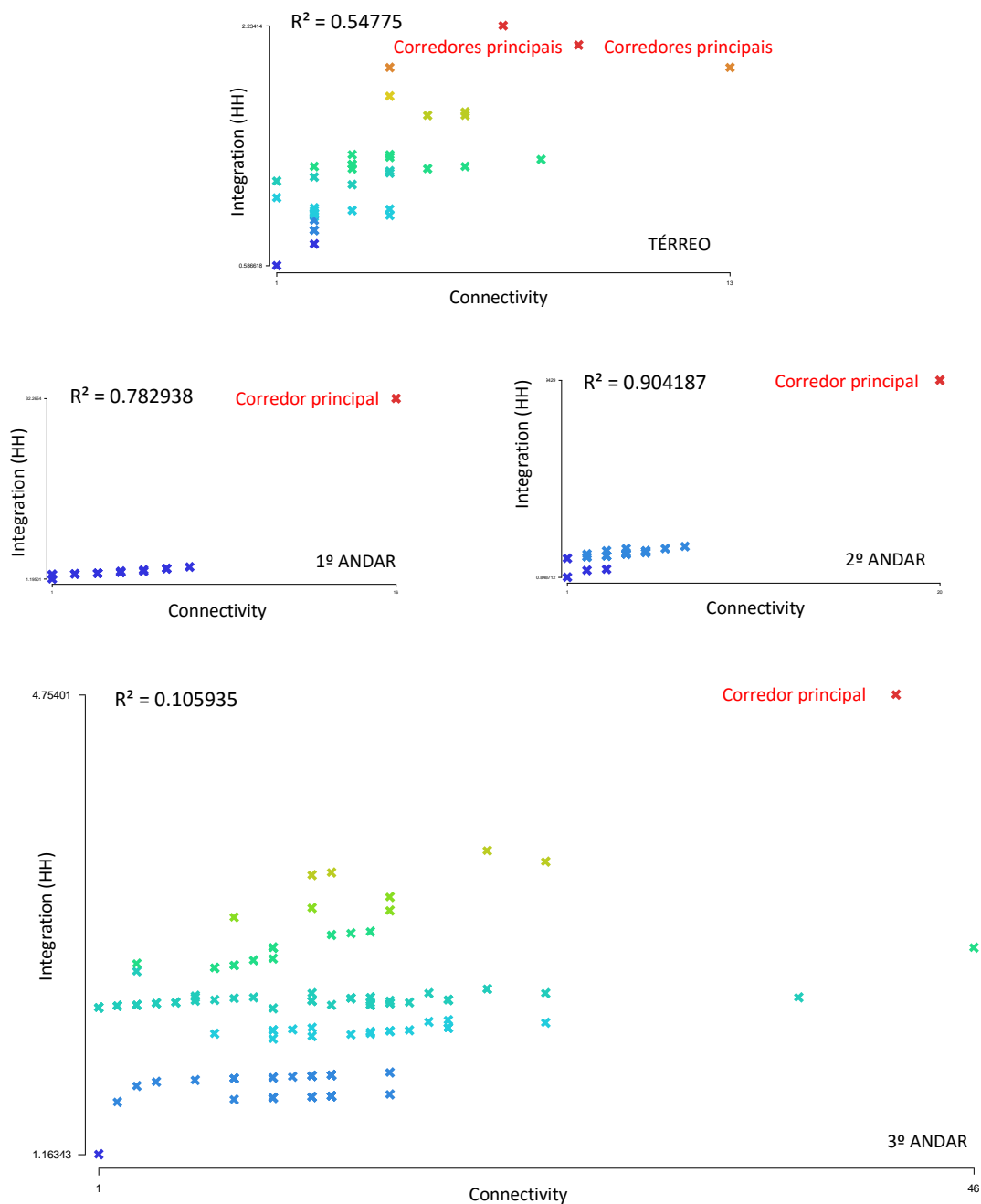


Figura 5.16: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para cada andar – EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Os ambientes com maior inteligibilidade são os corredores principais de cada andar, conforme visto na Figura 5.16. Mesmo no terceiro andar (o de menor inteligibilidade), com poucas mudanças de direção, um transeunte localizado em um dos trechos menos inteligíveis alcança o eixo mais inteligível do pavimento, o corredor principal, o qual interliga-se diretamente com as três escadas da edificação. Isto pode ser melhor visualizado a partir da próxima medida a ser apresentada, a profundidade.

Os valores de integração, indicativos de graus diferenciados de acessibilidade topológica a partir da configuração de uma edificação, são derivados da articulação entre profundidade e conectividade. Profundidade, outra das medidas da ASE, indica o número de passos topológicos de determinados ambientes em relação a qualquer outro do sistema. No caso do presente trabalho observou-se essas distâncias topológicas dos ambientes da edificação até que se alcance um local seguro, as saídas ou áreas externas, a partir do cálculo do número de mudanças de direção, ou “de nível”, que são necessárias para se chegar ao local desejado.

As informações quanto às análises axiais de profundidade estão apresentadas em todos os cenários, pois averiguar o alcance a partir de qualquer ambiente da edificação até as saídas de emergência ou locais seguros é um dos principais focos da pesquisa.

Quanto mais níveis possui um sistema, mais (topologicamente) profundo ou longo será o percurso a partir de determinado espaço. Ou seja, quanto mais mudanças de direções uma pessoa tiver que fazer de um ambiente para se alcançar um local seguro, mais segredado e menos acessível esse espaço será. A variável que mede a profundidade – *depth* – de níveis de mudanças de direção ou passos – *steps* – de um dado ponto do sistema até todos os outros (ou a quantidade de mudanças de direção de um ponto para todos os outros do sistema), é denominada *step depth*.

Neste trabalho, o *step depth* foi gerado a partir de todas as saídas abertas. Para o prédio da EC&T no cenário 1, ele mostra a existência de 11 níveis de profundidade, conforme visto na Figura 5.17, na qual também estão apresentadas as linhas correspondentes ao Nível 0. A maior parte das linhas, no entanto, estão nos três últimos níveis, localizados, em sua maioria, no terceiro andar – onde estão as salas dos professores e a área de convivência. A simulação mostrou que a maioria dos eixos são profundos em relação às saídas, ou seja, estando neles é necessário fazer de 9 a 11 mudanças de direção para conseguir sair do prédio.

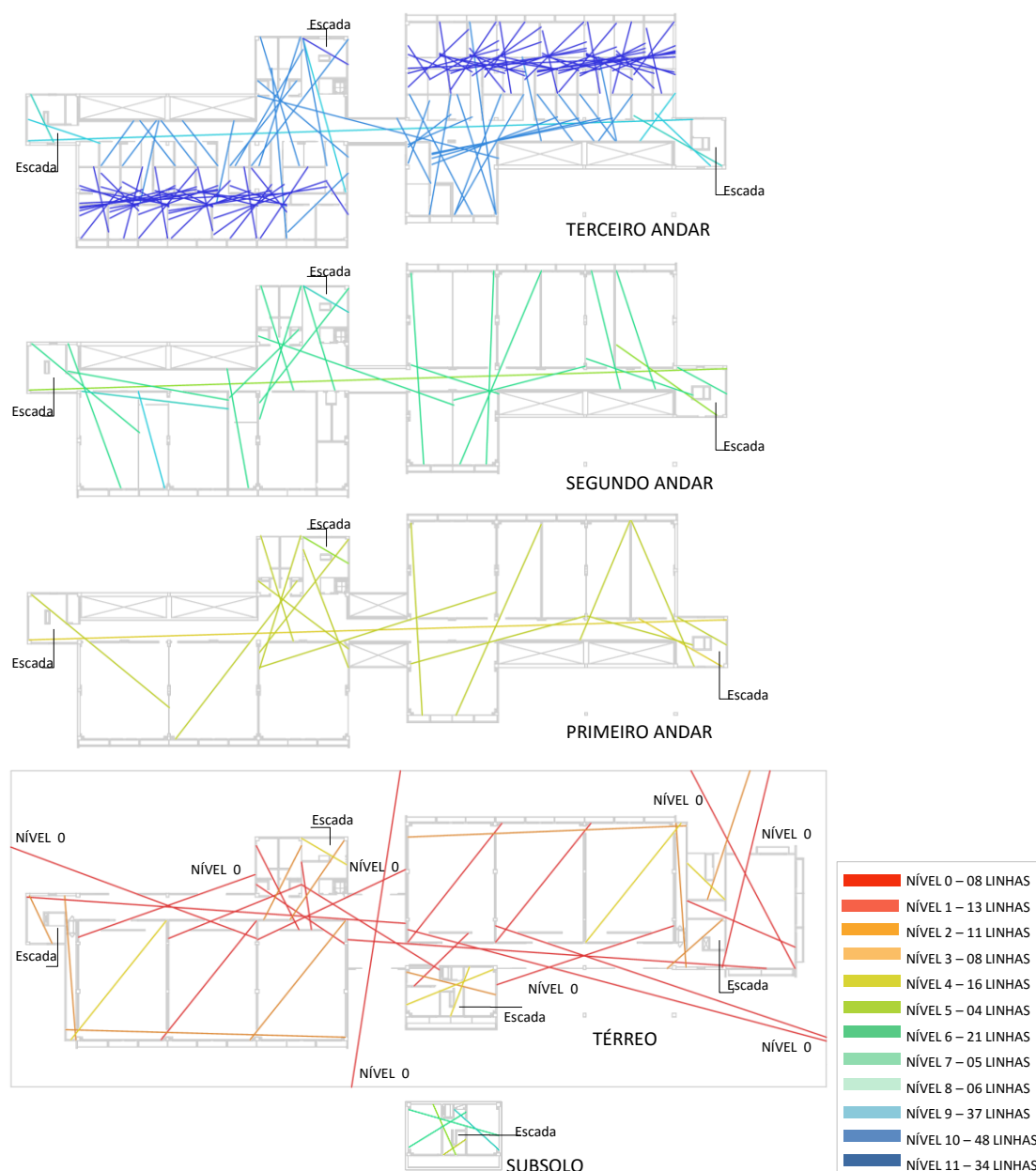


Figura 5.17: Mapa axial de profundidade e níveis do *Step Depth* – Cenário 1 da EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Mesmo abrigando a menor quantidade de pessoas da edificação, quando comparado ao primeiro ou segundo andar, no terceiro andar ainda se espera que permaneça um grande número de ocupantes. Nesse caso, a construção de uma saída para o exterior a partir dessa área mais profunda do edifício poderia ser eficaz para reduzir o número de mudanças de direção a um local seguro. Essa opção foi simulada no cenário 4 – Simulação com a presença de uma saída pela cobertura – e seus resultados serão apresentados posteriormente. Contudo, já conforme resultados adquiridos a partir da simulação do cenário 4 no PATHFINDER, viu-se que o tempo

total de escape pouco foi modificado. Ao se tratar de um gasto a mais com a implantação de uma saída de emergência mais próxima, essa solução seria desnecessária.

Quanto aos espaços mais profundos – no terceiro andar – serem ocupados por menos pessoas, é um ponto positivo para a edificação, pois assim deve acontecer nos sistemas prediais, levando-se em conta o maior grau de acessibilidade possível para as pessoas alcançarem locais seguros.

A última medida da ASE a ser calculada no presente trabalho é a visibilidade. Ela será explicada posteriormente como introdução ao cenário 3 do prédio da EC&T.

CENÁRIO 2 – Escada da esquerda desativada – EC&T – DEPTHMAP

No segundo cenário estabelecido para as simulações, a ASE apresentou mudanças no cálculo do *step depth*, pois, tomando uma das escadas como desativada, os usuários da edificação passam a ter um caminho a menos para fuga. Isso resultou na existência de 13 níveis de profundidade em relação às saídas no térreo (Figura 5.18).

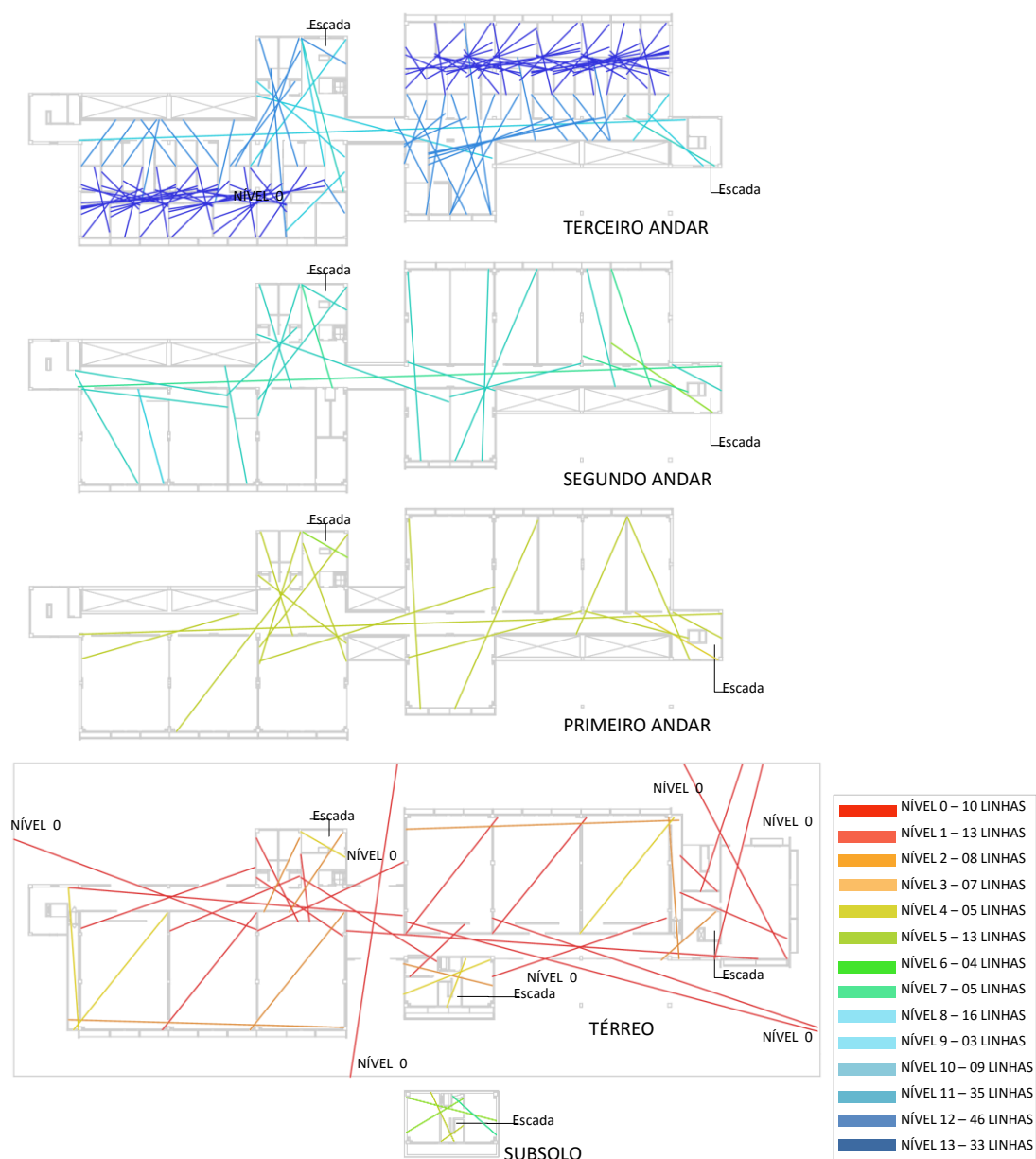


Figura 5.18: Mapa axial e níveis do *Step Depth* – Cenário 2 da EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Observa-se que o sistema se tornou mais profundo com a desativação de uma das escadas, diminuindo, consequentemente, a acessibilidade à área segura.

CENÁRIO 3 – Escadas enclausuradas – EC&T – DEPTHMAP

A medida calcula para os terceiros cenários analisados pela SE foi a visibilidade. Neste cenário, em particular, a análise é feita em cada andar separadamente e não se tomando o edifício como um todo, uma vez que importa a chegada do usuário até uma das escadas enclausuradas e não até a saída à área externa da edificação.

Quando o foco de análise é o pedestre, a depender do tipo de investigação, pode interessar não exatamente o trajeto (linha), mas as posições dos indivíduos no espaço (ponto). Nesse caso, mais adequada do que a representação linear é aquela denominada VGA ou grafo de visibilidade, que revela os diferentes potenciais dos pontos em um espaço aberto – ou conjunto de espaços abertos. Foi analisada, nas simulações, apenas a caracterização topológica de um ponto para todos os pontos, o *step depth*. No caso dos passos de visibilidade, todos os pontos diretamente visíveis a partir de um ponto selecionado – o qual se encontra no nível 0 – estão no nível 1; no nível 2 estão os pontos visíveis a partir daqueles do nível 1 e, assim, sucessivamente.

Os cenários 3 geraram diferentes resultados quanto ao *step depth* devido à presença das escadas enclausuradas – ou protegidas – em cada um dos andares. O cálculo da profundidade, nesse caso, não é feito de um lugar do sistema até as saídas no andar térreo, mas sim até os locais protegidos de cada um dos andares: as escadas nos andares superiores e as saídas para o exterior da edificação no térreo, a fim de analisar o quanto os ambientes da edificação estão visualmente acessíveis. A representação através do mapa de visibilidade, mostra o número de mudanças de direção que um usuário precisa fazer do ambiente onde se encontra para enxergar um dos locais seguros, os quais estão no nível 0 com a cor vermelha, conforme visto na Figura 5.19.

Salienta-se que, para os cenários 3 de todas as edificações, as plantas baixas não foram interligadas durante a simulação, como feito para os demais cenários – visto anteriormente na Figura 5.11. Aqui, a intenção não foi analisar todo o prédio como um sistema, mas sim cada pavimento separado, com interesse em verificar o alcance até os locais seguros de cada um (a área externa à edificação no térreo e as escadas protegidas nos demais andares).



Figura 5.19: Mapa de visibilidade e níveis do *Visual Step Depth* –EC&T

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Obteve-se, assim, cinco níveis de profundidade, ou seja, o usuário mais distante topologicamente precisa fazer no máximo cinco mudanças de direção para visualizar um local protegido.

Com o alcance das escadas já considerado adequado, esse cenário, quando comparado aos anteriores, mostra em seu resultado uma melhoria em relação aos níveis de profundidade até um local seguro em uma situação de incêndio. Mesmo que a representação do cenário 3 seja de profundidade visual, percebe-se que poucos níveis de profundidade devem ser

vencidos para que se alcance os próprios locais protegidos ou os corredores principais conectados a eles. Como o caso do terceiro andar, que apresenta o maior número de níveis: ao sair das salas, os ocupantes precisam fazer apenas uma ou duas mudanças de direção para visualizarem os corredores principais.

CENÁRIO 4 – Saída pela cobertura – EC&T – DEPTHMAP

O último cenário, com a presença de uma área de refúgio na cobertura, resultou nos dados apresentados pela Figura 5.20. Os níveis de profundidade, a partir dos ambientes da edificação para que se alcance uma área segura, foram oito. A quantidade de níveis diminuiu e as linhas foram melhor distribuídas entre eles; a área segura tornou-se mais acessível aos usuários da edificação. Porém a quantidade de níveis a serem vencidos ainda se encontra alta, principalmente no terceiro andar, onde existe uma maior compartimentação dos ambientes.

5.2. ESTUDO 2 (Prédio das Novas Engenharias)

5.2.1. Análise Normativa da edificação

O Quadro 5.5 apresenta as principais características do edifício relacionadas ao processo de abandono e às saídas de emergência, considerando os parâmetros de dimensionamento da NBR 9077:2001 e do código estadual com a IT 11:2014. O “A” indica os itens atendidos, “F” os itens falhos e “NA” os não atendidos.

NORMA	PARÂMETRO		EM PROJETO	STATUS
-	Área total construída		8.036,24 m ²	-
NBR 9077	Classificação da edificação	Ocupação	Escolar (E-1)	-
		Altura	M-Edificação de média altura (6,00 < H ≤ 12,00)	-
		Dimensões em planta	Q – De grande pavimento W – Edificação muito grande (A > 5.000m ²)	-
		Características construtivas	Y - Edificação com mediana resistência ao fogo	-
	Cálculo da População – Tabela 5 da norma ou layout	Térreo	370 pessoas	-
		1º andar	658 pessoas	-
		2º andar	570 pessoas	-
		3º andar	465 pessoas	-
		Total	2.090 pessoas	-
	Larguras das escadas–Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 60 (658 ÷ 60 = 11 u.p.) / Largura mínima = 6,05m (valor total a ser distribuído entre as escadas)		3 escadas (2,50m + 2,20m + 1,50m de largura = total de 6,20m = 12 u.p.	A
	Larguras das descargas (acessos/corredores) * Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 100 Térreo = 2,20m / 1º andar = 3,85m / 2º andar = 3,30m / 3º andar = 2,75m		Térreo = 2,28 m 1º andar = 2,28m 2º andar = 2,28m 3º andar = 2,28m	A F F F
	Larguras das portas no Térreo – Capacidade da u.p. = 100 (658 ÷ 100 = 7 u.p.) / Largura mínima = 3,85m (valor total a ser distribuído entre as portas de saída de emergência)		6 portas com 2,00m de largura = total de 12,00 m = 22 u.p.	A
	Distância horizontal máxima a ser percorrida até local seguro (área externa da edificação) - Mínima = 45m		Térreo = 42,20m 1º andar = 66,95m 2º andar = 79,00m 3º andar = 83,65m	A F F F
	Número de Saídas no pavimento de descarga – mínimo 2		6 saídas	A
	Número e tipos de Escadas - 2 escadas EP (escada enclausurada protegida)		3 escadas NE (não enclausuradas)	A NA
	Área de Refúgio - Obrigatória em prédios educacionais - E - quando forem classificados em “W”		Não possui	NA
CBMRN / IT 11	Larguras das escadas–Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 75 (658 ÷ 75 = 9 u.p.) / Largura mínima = 4,95m (valor total a ser distribuído entre as escadas)		3 escadas (2,50m + 2,20m + 1,50m de largura = total de 6,20m = 12 u.p.	A

	Distância máxima a ser percorrida até escada - a partir da porta da unidade mais distante com caminhamento interno < 10m Térreo = 75m Demais andares = 65m	Térreo = 42,20m	A
		1º andar = 34,75m	A
		2º andar = 31,75m	A
		3º andar = 36,40m	A
	Tipos de Escadas – NE	NE (não enclausurada)	A
* Nota da autora			

Quadro 5.5: Prédio das Novas Engenharias segundo parâmetros de dimensionamento prescritivo

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Dos parâmetros de dimensionamento prescritivo para o prédio das engenharias, a largura das escadas, a distância máxima a ser percorrida até a área externa da edificação no primeiro, segundo e terceiro andar, o tipo das escadas e a presença de uma área de refúgio conforme a NBR 9077 são falhos ou não foram atendidos. Já os parâmetros que são unicamente estabelecidos pela IT 11 foram atendidos, assim como observado no Estudo 1. Porém, como a normalização mais restritiva deve ser a utilizada, a configuração mínima que o prédio deveria possuir é conforme o especificado pela NBR 9077.

Para que esses parâmetros fossem verificados quanto à sua eficácia, nos *softwares* quatro cenários foram simulados:

- Cenário 1: Ocorrência de incêndio no laboratório de informática no térreo – com três escadas convencionais livres;
- Cenário 2: Ocorrência de incêndio no laboratório de Biomateriais no segundo andar – escada da esquerda desativada;
- Cenário 3: Ocorrência de incêndio aleatório – com duas escadas enclausuradas;
- Cenário 4: Criação de uma saída de emergência pela cobertura

5.2.2. Simulações do edifício 2 (Novas Engenharias) com o PATHFINDER

As informações para as simulações do edifício 2 no PATHFINDER estão no Quadro 5.6.

Modo	Cenário	Parâmetros gerais
<i>Steering</i>	1, 2, 3 e 4	<ul style="list-style-type: none"> - Todos os ocupantes se dirigirão à saída mais próxima - Presença de mobiliário conforme <i>layout</i> do projeto - Número de ocupantes (2.090) distribuídos pelos ambientes conforme <i>layout</i> existente na planta ou cálculo com base nas normas; - População inserida nos ambientes randomicamente; - Todas as saídas estão abertas; - Tempo de pré-movimento padrão estabelecido pelo PATHFINDER - Todos os ocupantes caminham a uma mesma velocidade = 1,3 m/s

Quadro 5.6: Informações para as simulações realizadas – Novas Engenharias

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 1 – Escadas convencionais e livres – Novas Engenharias – PATHFINDER

No cenário 1, verifica-se o tempo de escape da pessoa que se encontra mais afastada de uma das saídas na edificação. Esse usuário encontra-se no Laboratório 48 no terceiro andar (*Floor* 11,0 m) e deve alcançar no térreo (*Floor* 0,20m), a saída mais próxima para abandonar a edificação e estar seguro, conforme a NBR 9077. Nesse caso, os elementos envolvidos nesse cenário são a sala onde o usuário se encontra (*Room* 169), a porta por onde ele passa para sair da sala (*Door* 155), a escada da esquerda que ele acessa para descer (*Stairs* 11), e a porta de saída no térreo (*Door* 24), indicados nas Figuras 5.21 e 5.22.

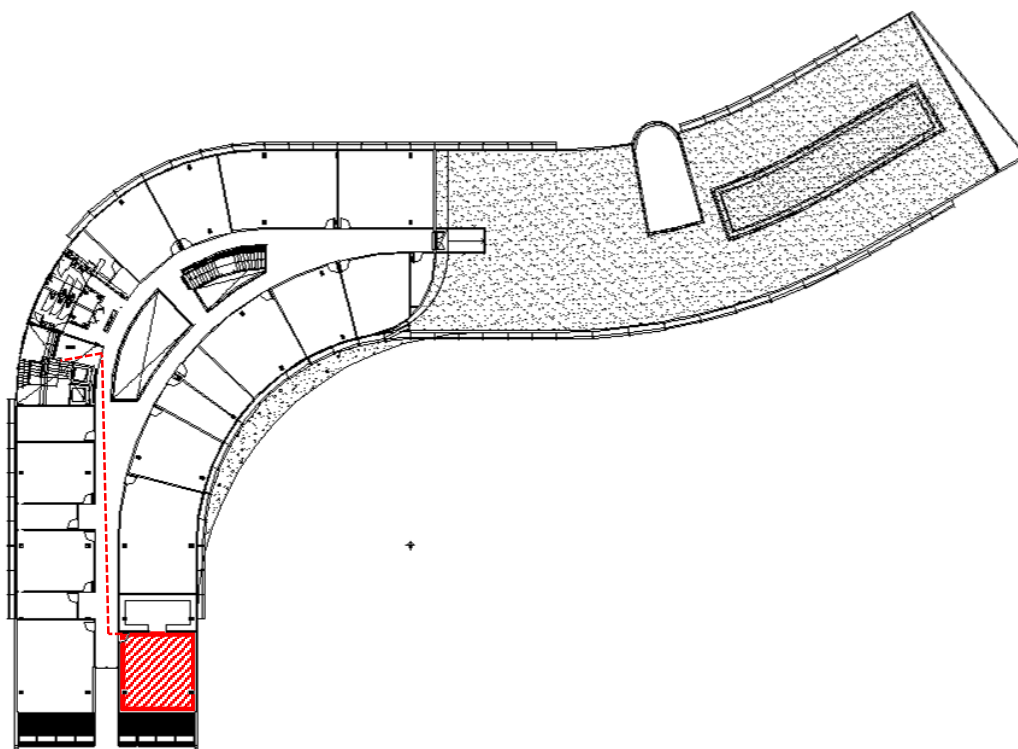


Figura 5.21: Terceiro andar das Novas Engenharias - destaque para a sala e trajeto do indivíduo observado

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: Elaborado pela autora, 2015

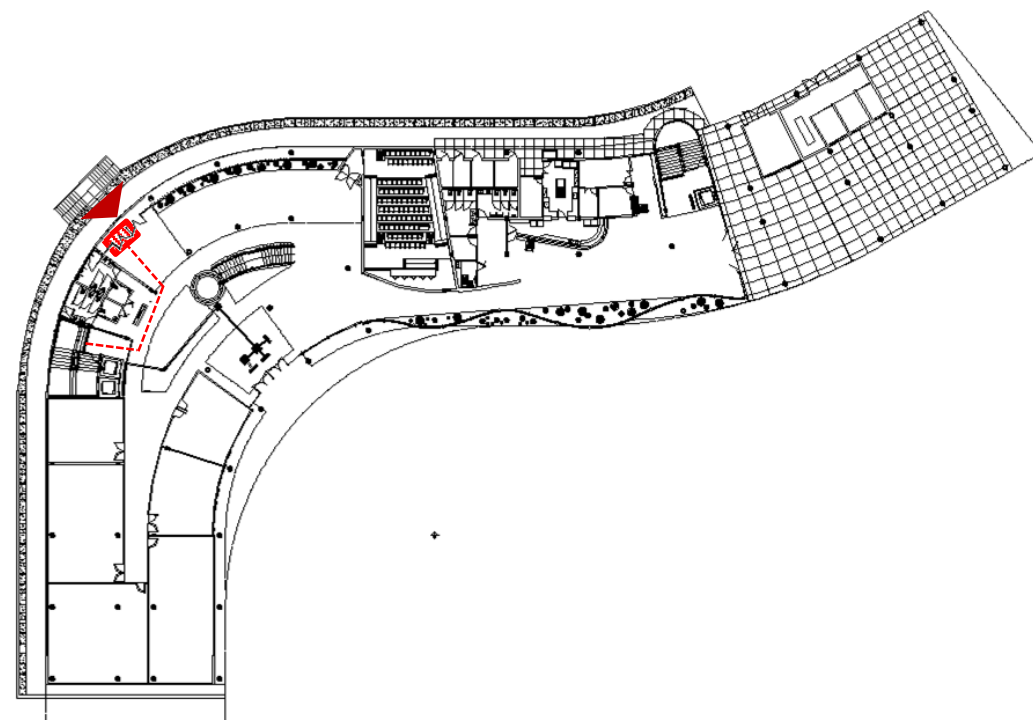


Figura 5.22: Térreo das Novas Engenharias - destaque para saída escolhida pelo indivíduo

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Os resultados da simulação para o cenário 1 estão contidos na Tabela 5.5. Os dados do tempo necessário para o último usuário sair (“*LAST OUT*”) dos componentes (Sala, Porta e Escada) correspondem ao usuário observado.

Tabela 5.5: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 1 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 2 – Cenário 1			
Mode:	Steering			
Total Occupants:	2.090			
Exit Times (s):				
Min:	2,9			
Max:	357,9			
[Components] All:	435			
[Components] Doors:	222			
Startup Time:	0,1s			
ROOM / DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
Floor 0,20 m-> Door24	13,3	334,0	336	0,98
Floor 0,20 m-> Stair11	16,2	318,0	657	2,01
Floor 11,0 m ->Door155	1,4	5,3	56	1,10
Floor 11,0 m-> Room169	0,0	52,3	56	

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

O tempo máximo de evacuação da edificação foi de 357,9 segundos (5,9 minutos) e o tempo total de escape do usuário mais afastado de uma saída para o exterior foi de 334 segundos (5,5 minutos). Os tempos foram bem próximos, o que já mostra, para esse estudo, a relação mais próxima entre a distância métrica e o tempo total de escape, diferente do observado no Estudo 1 (EC&T). Contudo, nos dois estudos esses tempos de escape são prolongados devido ao grande número de ocupantes na edificação que se aglomera nas escadas e retarda a evacuação (Figura 5.23).



Figura 5.23: Aglomeração dos ocupantes próxima às escadas – Novas Engenharias

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

No tempo de 155 segundos, 2,5 minutos, como pode ser visto no gráfico da Figura 5.21, o número de ocupantes que permanecem no edifício é igual ao número dos que já saíram. Porém, ainda são necessários mais 202 segundos (3,3 minutos) para que o restante da população abandone a edificação.

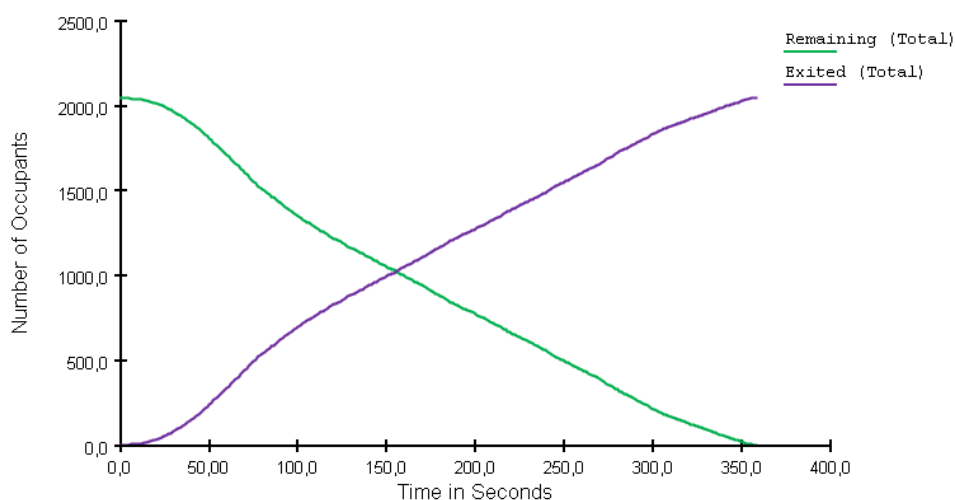


Figura 5.24: Gráfico com o tempo total de retirada – Novas Engenharias

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 2 – Escada da esquerda desativada – Novas Engenharias – PATHFINDER

Este cenário considera a mesma situação de incêndio, mas a escada da esquerda não é utilizada para a descida dos ocupantes, uma vez que se encontra muito próxima à sala onde o incêndio foi iniciado. Para esse caso se fez necessário mostrar apenas o tempo final da última

pessoa que abandonou a edificação passando por uma das portas de saída no térreo, a “Door23”. O resultado obtido para esse cenário encontra-se na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 2 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 2 – Cenário 2			
Mode:	Steering			
Total Occupants:	2.090			
Exit Times (s):				
Min:	2,9			
Max:	561,0			
Startup Time:	0,1s			
ROOM / DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
Floor 0,20 m-> Door23	4,9	561,0	607	1,09

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

O tempo para a última pessoa abandonar a edificação foi de 561 segundos (9,35 minutos) um tempo muito elevado. A diferença entre ele e o adquirido no cenário 1 foi grande e ocorreu devido ao número de ocupantes nessa edificação e a relação entre ele e as escadas, considerando a quantidade e largura das mesmas.

CENÁRIO 3 – Escadas enclausuradas – Novas Engenharias – PATHFINDER

Para o cenário 3, duas das escadas convencionais passam a ser enclausuradas, ou seja, nelas, conforme a NBR 9077, o indivíduo encontra-se protegido. Essas escadas são a da esquerda (*Stair19*) e a da direita (*Stair35*); a escada central permanece como convencional. Nesse caso, os resultados com maior importância a serem contabilizados são os tempos do último usuário a adentrar cada uma dessas escadas. Eles estão apresentados na Tabela 5.7 como “*LAST IN*”.

Tabela 5.7: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 3 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 2 – Cenário 3	
Mode:	Steering	
Startup Time:	0,1s	
STAIR	FIRST IN (s)	LAST IN (s)
Stair19	6,9	310,3
Stair35	8,8	293,8

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

O tempo do último ocupante a adentrar uma escada enclausurada foi de 310,3 segundos (5,17 minutos). Porém, ambos os tempos, apesar de sofrerem uma grande redução em comparação aos primeiros cenários, ainda se encontram insatisfatórios quando comparados com o tempo ideal da NBS, de 2,5 minutos. Com isso, verifica-se mais uma vez a importância do cálculo da população que, junto ao do dimensionamento das escadas, não venha a comprometer a segurança dos usuários de uma edificação.

CENÁRIO 4 – Saída pela cobertura – Novas Engenharias – PATHFINDER

O cenário 4, com a presença de uma área de refúgio no último andar, resultou em diferentes valores para os tempos de escape mínimo e máximo, conforme a Tabela 5.8. O tempo máximo foi de 231,8 segundos (3,86 minutos), o qual representa o resultado mais vantajoso analisado para esse estudo. Apesar de não ter alcançado o valor dos 2,5 minutos propostos pela NBS, essa simulação mostrou que uma saída alternativa pode oferecer uma proteção mais rápida aos usuários da edificação.

Tabela 5.8: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 4 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 2 – Cenário 4
Mode:	Steering
Total Occupants:	2.090
Exit Times (s):	
Min:	2,9
Max:	231,8
Startup Time:	0,1s

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

5.2.3. Simulações do edifício 2 (Novas Engenharias) com o DEPTHMAP

CENÁRIO 1 – Escadas convencionais e livres – Novas Engenharias – DEPTHMAP

A primeira propriedade da ASE analisada para o edifício 2, assim como para o primeiro, foi a conectividade (Figura 5.25). As linhas mais conectadas estão no segundo andar, em parte do curvilíneo corredor central do piso que conecta os vários ambientes; as menos conectadas estão distribuídas pelos pavimentos, em ambientes com apenas uma conexão.

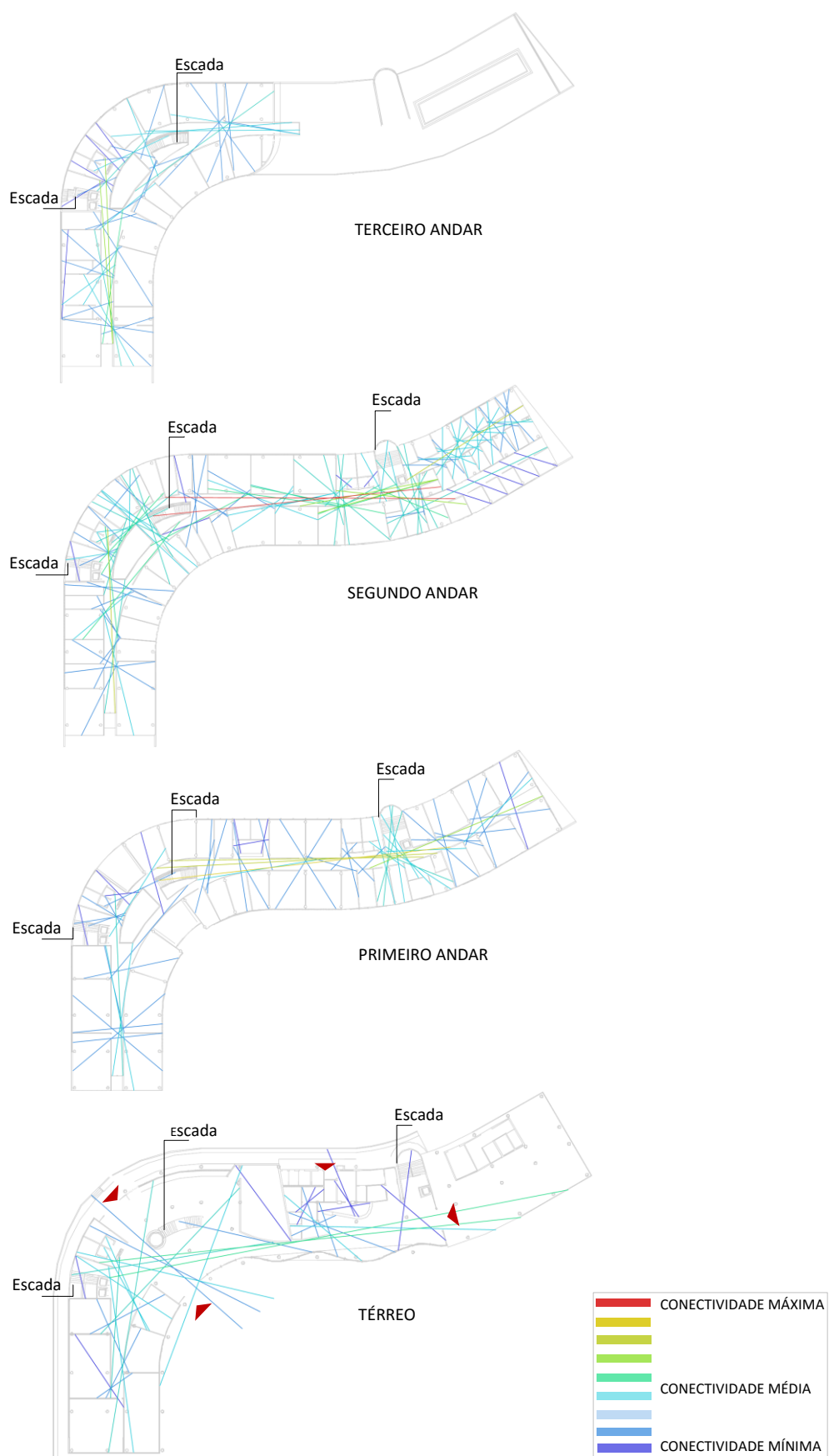


Figura 5.25: Mapa axial de conectividade com indicação das saídas no térreo – Novas Engenharias

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Acredita-se que, nos eixos mais conectados, uma pessoa tenha melhor noção da localização de outros espaços; porém, em uma situação de fuga em caso de incêndio, isso pode vir a ser um agravante, principalmente para alguém não esteja familiarizado com a edificação. Tais trechos podem vir a confundir o transeunte com a possível presença de mais portas, saídas e corredores conectados a eles.

Como mencionado nos resultados do Estudo 1 (EC&T), eixos assim necessitam de uma boa sinalização e, de preferência, estar conectados diretamente com as saídas de emergência, como é o caso do presente estudo: os eixos mais conectados de cada andar estão diretamente ligados a escadas.

A segunda medida calculada foi a Integração (Figura 5.26). As linhas mais integradas estão localizadas, primeiramente, nos corredores do segundo andar e, em seguida, no corredor do primeiro andar. De acordo com a figura, percebe-se mais uma vez o usual para as edificações, que, em cada andar, as linhas com maior potencial de movimento encontram-se nos corredores principais.

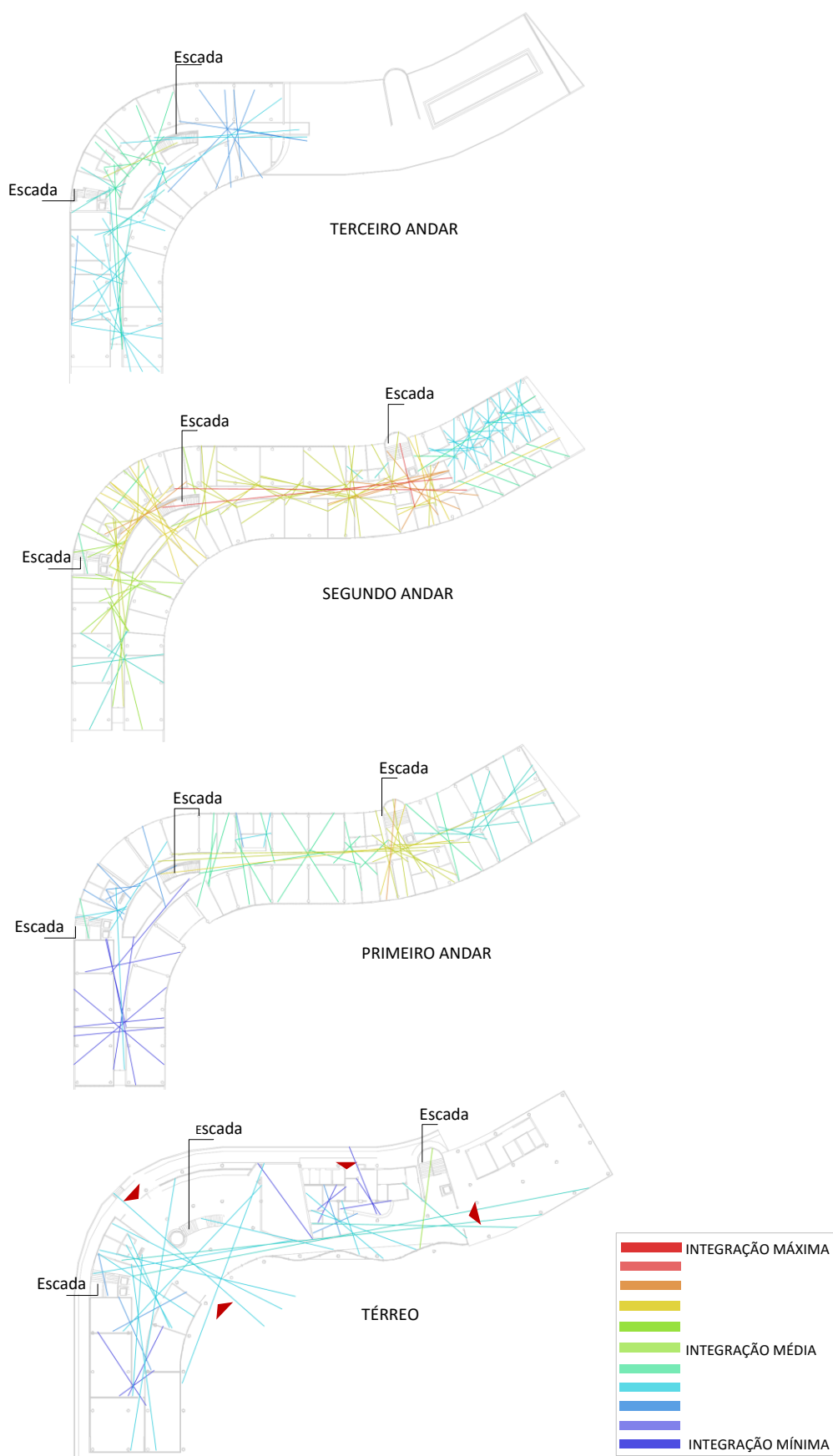


Figura 5.26: Mapa axial de integração HH com indicação das saídas no térreo - Novas Engenharias

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Assim como comentado no Estudo 1 (EC&T), outros fatores devem ser levados em consideração para a estimativa do potencial de movimento. Nesse caso, supõe-se que a presença de elementos de atração, como um auditório e uma área de convivência com cantina no térreo implicam em um maior número de ocupantes e têm o potencial de aumentar o movimento dos usuários nesse pavimento, mesmo que sua acessibilidade topológica não seja alta. Ou seja, eixos menos integrados podem possuir elevada movimentação de pessoas, a depender do uso dos ambientes e do número de pessoas que eles comportam.

A correlação entre conectividade e integração, que indica a inteligibilidade do sistema (Figura 5.27) é fraca, de 0,31 (31%). Apenas dois eixos, de fato, são bem integrados e bem conectados, e correspondem ao corredor central no segundo andar. A inteligibilidade no sistema como um todo foi baixa, mesmo que tenha sido superior ao estudo anterior. Cabe avaliar cada um dos andares separadamente (Figura 5.28).

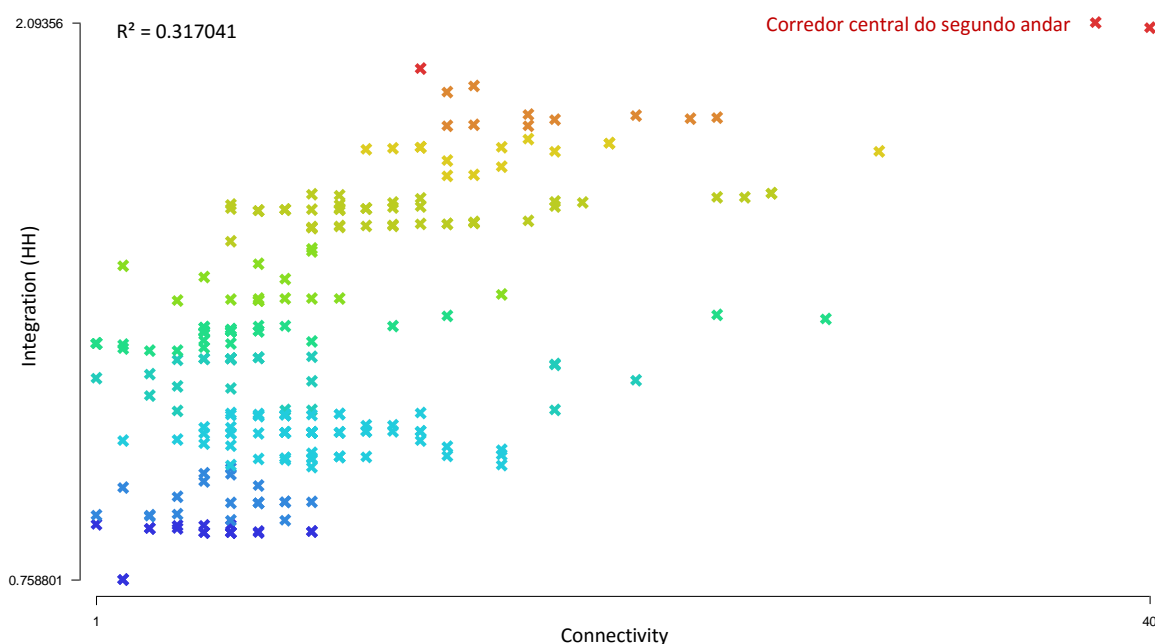


Figura 5.27: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para todo o sistema – Novas Engenharias
Fonte: DEPTHMAP, 2004

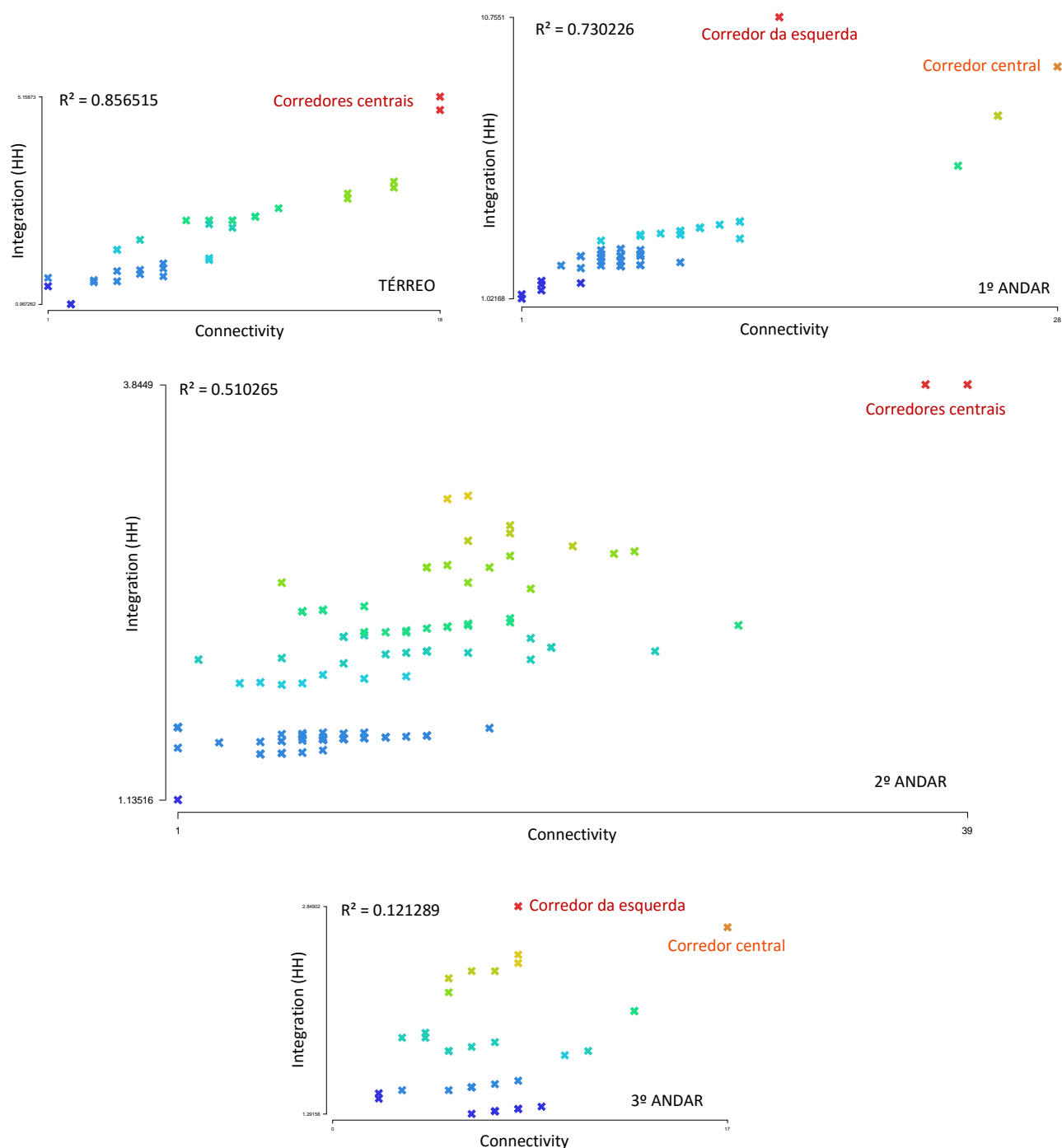


Figura 5.28: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para cada andar – Novas Engenharias
Fonte: DEPTHMAP, 2004

Percebe-se que, assim como no Estudo 1 (EC&T), os três primeiros andares apresentam uma melhor correlação entre as medidas analisadas, ou seja, uma melhor inteligibilidade. O resultado do coeficiente de correlação foi de 85% (muito forte), 73% (forte) e 51% (moderada) para o térreo, primeiro e segundo andar, respectivamente. De acordo com o resultado da Figura 5.27, no qual se verifica a correlação para todo o sistema, o prédio deveria ser considerado como de baixa inteligibilidade. Porém, se observado os resultados da Figura 5.28,

percebe-se que a inteligibilidade em cada um dos três primeiros andares aumenta, crescendo, conseqüentemente, o senso de orientação que os ocupantes possuem ao se direcionarem do ambiente onde se encontram até uma das escadas ou saídas de emergência.

Quanto à profundidade, o *step depth* foi gerado a partir de todas as saídas abertas, e representado na Figura 5.29. O cálculo resultou em nove níveis de profundidade e é possível visualizar que muitos dos eixos, nesse cenário, são profundos em relação às saídas; a partir do primeiro andar é necessário mudar de três a nove vezes de direção para conseguir sair do prédio.

Neste estudo, assim como no Estudo 1, as áreas mais segregadas encontram-se no último andar. Porém, diferente do primeiro prédio analisado, o resultado obtido no cenário 4 por meio do PATHFINDER, no Estudo 2, revelou uma melhoria no tempo de escape com a adição de uma saída pela cobertura. Para essa situação, seria viável o gasto com um acréscimo na construção.

CENÁRIO 2 – Escada da esquerda desativada – Novas Engenharias – DEPTHMAP

Neste cenário, com um dos blocos de escada desabilitado para o escape, presumia-se que o cálculo da profundidade apresentasse maiores mudanças quanto aos seus níveis, porém, isso não foi comprovado com os resultados adquiridos (Figura 5.30). Os níveis permaneceram os mesmos, ou seja, o usuário topologicamente mais afastado deverá fazer nove mudanças de direção para alcançar a área externa da edificação. O que ocorreu foi uma sutil mudança na distribuição do número de linhas em cada nível, que pouco influencia a acessibilidade dos usuários na configuração espacial do edifício. Portanto, de acordo com ASE, esse prédio poderia ter apenas duas escadas, pois em termos de acessibilidade topológica o efeito de duas ou três escadas seria praticamente o mesmo.



Figura 5.30: Tabela com níveis do Step Depth – Cenário 2 das Novas Engenharias

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 3 – Escadas enclausuradas – Novas Engenharias – DEPTHMAP

No cenário 3, as escadas da direita e da esquerda, pela maneira em que já estão estruturadas, foram as consideradas como enclausuradas e, por isso, de acordo com a NBR 9077, locais protegidos. Já a escada central, no presente estudo, foi desconsiderada para a simulação, visto que sua adaptação à norma necessitaria, em uma situação real, de uma mudança estrutural mais complexa. Entende-se que, mesmo não sendo uma escada protegida, a escada central poderia ser utilizada, e, em uma situação real, seu uso poderia contribuir para a diminuição do tempo total de escape.

Sobre os posicionamentos das três escadas pode ser proferida uma crítica quanto a criação de corredores encurralados (Figura 5.31). Tal situação, mesmo que permitida pela normalização brasileira, uma vez que esta não trata sobre o assunto, não é uma solução interessante ao escape seguro dos ocupantes de uma edificação. Por exemplo, um usuário, nervoso e não familiarizado com o prédio, pode, no momento da fuga, optar por um caminho que não o leve a uma das escadas, mas a um corredor sem saída. Isso pode ocasionar grande prejuízo à segurança desse transeunte.

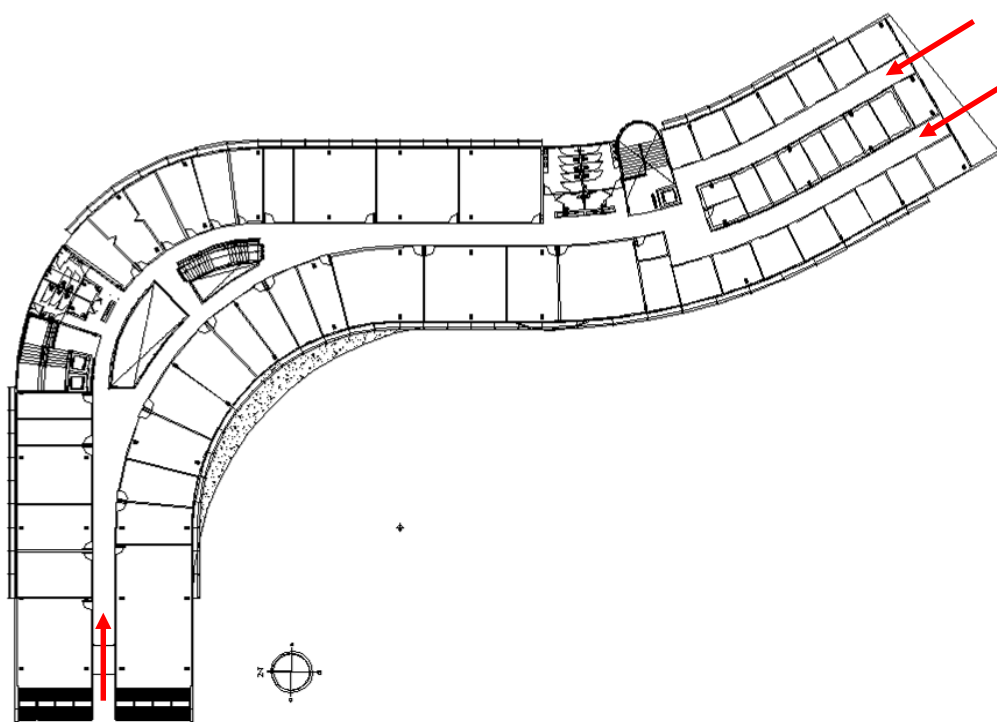


Figura 5.31: Setas mostrando a presença de corredores encurralados no Prédio das Novas Engenharias

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Quanto à análise em questão, o cenário 3 apresentou características muito próximas ao primeiro. A profundidade visual alcançou o máximo de quatro níveis para que um ocupante da edificação consiga visualizar uma das escadas protegidas em cada andar superior ou uma das saídas no térreo (Figura 5.32).

Percebe-se, ainda, que apenas no terceiro andar são necessárias quatro mudanças de direção, e que dos ambientes no nível três, um ocupante, familiarizado com a edificação, pode facilmente localizar uma saída. Para o caso de alguém com pouca familiaridade, e em momentos de desespero, pensa-se que o ideal é que ele faça apenas uma ou duas mudanças

de direção até a saída de emergência. Admite-se, aqui, que essa, é a melhor opção, em qualquer cenário, para que uma pessoa não se perca na edificação.

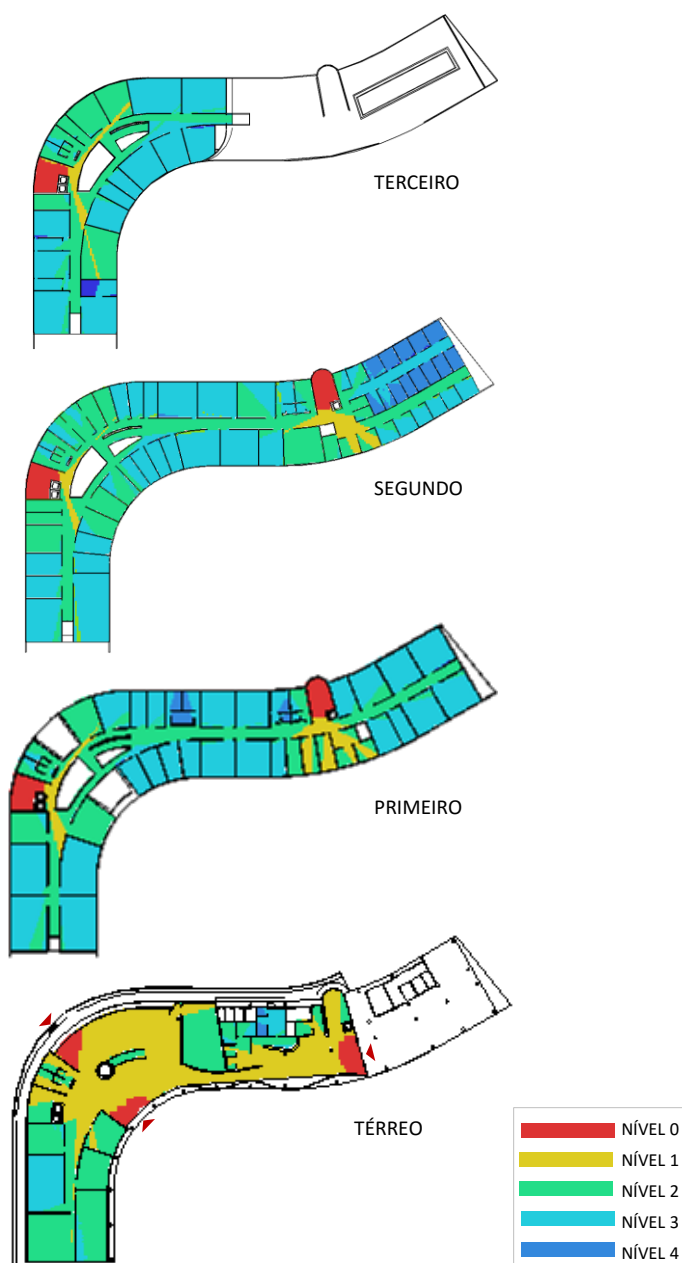


Figura 5.32: Mapa de visibilidade e níveis do *Visual Step Depth* –Novas Engenharias

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 4 – Saída pela cobertura – Novas Engenharias – DEPTHMAP

Para o cenário 4 no prédio das novas engenharias, foram encontrados sete níveis de profundidade (Figura 5.33).

saída tornou o local seguro mais acessível aos usuários. Um número maior de saídas é, nessa edificação, mais vantajoso para os usuários em caso de incêndio.

5.3. ESTUDO 3 (Prédio da Escola de Enfermagem)

5.3.1. Análise Normativa da edificação

Como para os estudos anteriores, são apresentadas as principais características do edifício relacionadas ao processo de abandono e às saídas de emergência, considerando os parâmetros de dimensionamento da NBR 9077:2001 e do código estadual com a IT 11:2014 (Quadro 5.7).

NORMA	PARÂMETRO		EM PROJETO	STATUS
-	Área total construída		4.062,21 m ²	-
NBR 9077	Classificação da edificação	Ocupação	Escolar (E-1)	-
		Altura	M-Edificação de média altura (6,00 < H ≤ 12,00)	-
		Dimensões em planta	Q – De grande pavimento V – Edificação grande (1.500 m ² ≤ St < 5.000 m ²)	-
		Características construtivas	Y - Edificação com mediana resistência ao fogo	-
	Cálculo da População – Tabela 5 da norma ou layout	Térreo	810 pessoas	-
		1º andar	310 pessoas	-
		2º andar	30 pessoas	-
		Total	1.210 pessoas	-
	Larguras das escadas e rampas – Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 60 (310 ÷ 60 = 5 u.p.) / Largura mínima = 3,00m (valor total a ser distribuído entre as escadas e rampas)		2 escadas (1,15m + 1,45m de largura = total de 2,60m = 4 u.p.) + 1 Rampa (1,35m = 2 u.p.) = 6.up	A
	Larguras das descargas (acessos/corredores) * Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 100 Térreo = 4,95m / 1º andar = 2,20m / 2º andar = 1,10m		Térreo = 2,25 m 1º andar = 2,25m 2º andar = 2,25m	F A A
	Larguras das portas no Térreo – Capacidade da u.p. = 100 (810 ÷ 100 = 9 u.p.) / Largura mínima = 4,95m (valor total a ser distribuído entre as portas de saída de emergência)		3 portas com 1,20m + 0,80m** + 2,20m de largura = total de 4,20 m = 8 u.p.	F
	Distância horizontal máxima a ser percorrida até local seguro (área externa da edificação) - Mínima = 45m		Térreo = 39,10m 1º andar = 74,05m 2º andar = 65,10m	A F F
	Número de Saídas no pavimento de descarga – mínimo 2		4 saídas	A
	Número e tipos de Escadas - 2 escadas EP (escada enclausurada protegida)		2 escadas NE (não enclausuradas)	A NA
	Área de Refúgio Não obrigatória		Não possui	A
CBMRN / IT 11	Larguras das escadas–Capacidade da unidade de passagem (u.p.) = 75 (310 ÷ 75 = 5 u.p.) / Largura mínima = 2,75m (valor total a ser distribuído entre as escadas)		2 escadas (1,15m + 1,45m de largura = total de 2,60m = 4 u.p.	F

	Distância máxima a ser percorrida até escada - a partir da porta da unidade mais distante com caminhamento interno < 10m Térreo = 75m / Demais andares = 65m	Térreo = 39,10m 1º andar = 52,80m 2º andar = 28,90m	A A A
	Tipos de Escadas – NE	NE (não enclausurada)	A

* Nota da autora

** OBS: A porta com a largura de 0,80m, apesar de estar subdimensionada quanto à largura mínima exigida por norma (de 2 unidades de passagem), para o presente trabalho foi considerada como porta de saída de emergência por estar localizada em um ambiente com muitos ocupantes (auditório) e por possuir conexão direta com o meio externo à edificação.

Quadro 5.7: Prédio da Escola de enfermagem segundo parâmetros de dimensionamento prescritivo

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Assim como para os edifícios anteriores, alguns parâmetros das normas estão falhos ou não foram atendidos no Estudo 3, são eles: largura das portas de saída para o meio externo, distância máxima a ser percorrida até a área externa da edificação no primeiro e segundo andar e o tipo das escadas.

A relação entre a ausência ou presença desses parâmetros podem ser verificadas nas simulações adiante a partir de quatro cenários:

- Cenário 1: Ocorrência de incêndio aleatório – com duas escadas convencionais livres;
- Cenário 2: Ocorrência de incêndio aleatório – inexistência da rampa e larguras das escadas de acordo com a NBR9077;
- Cenário 3: Ocorrência de incêndio aleatório – com duas escadas enclausuradas;
- Cenário 4: Criação de uma saída de emergência pela cobertura

5.3.2. Simulações do edifício 3 com o PATHFINDER

No Quadro 5.8 estão as informações para as simulações do edifício 3 no PATHFINDER.

Modo	Cenário	Parâmetros gerais
<i>Steering</i>	1, 2, 3 e 4	<ul style="list-style-type: none"> - Todos os ocupantes se dirigirão à saída mais próxima - Presença de mobiliário conforme <i>layout</i> do projeto - Número de ocupantes (1.210) distribuídos pelos ambientes conforme <i>layout</i> existente na planta ou cálculo com base nas normas; - População inserida nos ambientes randomicamente; - Todas as saídas estão abertas; - Tempo de pré-movimento padrão estabelecido pelo PATHFINDER - Todos os ocupantes caminham a uma mesma velocidade = 1,3 m/s

Quadro 5.8: Informações para as simulações realizadas – Escola de Enfermagem

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 1 – Escadas convencionais e livres – Escola de Enfermagem – PATHFINDER

Assim como ocorreu nos outros estudos, no cenário 1 verificou-se o tempo de escape da pessoa que se encontra mais afastada – em distância métrica – de uma das saídas na edificação. Nesse caso em questão, encontra-se em um dos gabinetes do segundo andar (*Floor 7,4 m*) e deve alcançar no térreo (*Floor 0,40m*) a saída mais próxima para abandonar a edificação e estar seguro, conforme a NBR 9077. A sala onde o usuário se encontra é a *Room 107*, a porta por onde ele passa para sair da sala é a *Door 101*, a escada da direita que ele acessa para descer é a *Stair 11* e a porta de saída no térreo é a *Door 04*, indicados nas Figuras 5.34 e 5.35. Os resultados da simulação para o cenário 1 estão contidos na Tabela 5.9 e seus dados correspondem ao usuário observado, o qual se encontra no ambiente mais distante da uma saída.

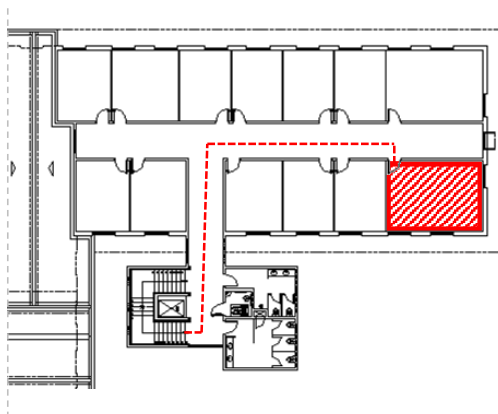


Figura 5.34: Segundo Andar da Escola de Enfermagem - destaque para a sala e trajeto do indivíduo observado

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: Elaborado pela autora, 2015

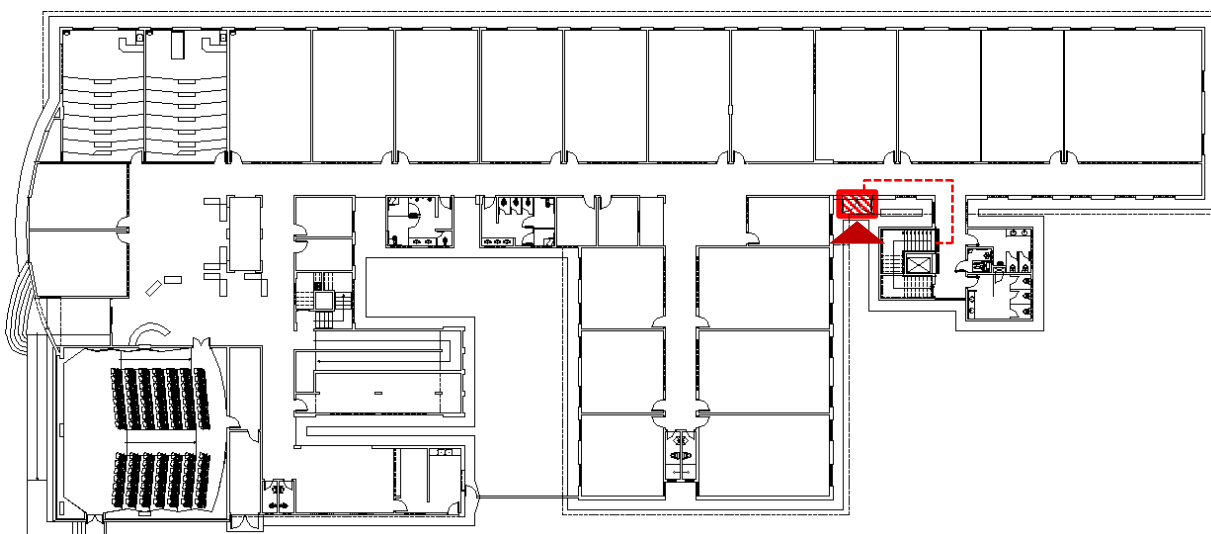


Figura 5.35: Térreo da Escola de Enfermagem - destaque para saída escolhida pelo indivíduo

Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Tabela 5.9: Resumo da Simulação do Estudo 3 – Cenário 1 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 3 – Cenário 1			
Mode:	Steering			
Total Occupants:	1.210			
Exit Times (s):				
Min:	1,5			
Max:	231,8			
[Components] All:	259			
[Components] Doors:	132			
Startup Time:	0,1s			
ROOM / DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
Floor 0,40 m-> Door04	3,2	206,8	626	3,74
Floor 0,40 m-> Stair11	4,5	188,3	180	0,85
Floor 7,4 m->Door101	3,8	5,8	3	1,52
Floor 7,4 m-> Room107	0,0	5,8	3	

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

O tempo de saída do usuário observado, que se encontra no local mais distante da saída para o exterior do edifício foi de 206,8 segundos (3,44 minutos). Já o tempo do último ocupante a abandonar a edificação foi de 231,8 segundos (3,86 minutos), com pouca diferença entre eles. Assim como no cenário 1 do estudo 2, percebe-se que há uma relação direta entre a distância e o tempo total de fuga. Nesse estudo, confirma-se a suposição de que quanto maior a distância métrica em que uma pessoa se encontra da saída, maior tende a ser o seu tempo de escape. Esse resultado também foi encontrado na simulação do cenário 1 para o Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias), e, como já constatado, diferente do obtido no cenário 1 do Estudo 1 (Prédio da EC&T).

CENÁRIO 2 – Escadas ajustadas à NBR 9077:2001 – Escola de Enfermagem – PATHFINDER

Diferente dos cenários 2 nos demais estudos, para a simulação do cenário 2 na Escola de Enfermagem as escadas foram ajustadas de acordo com o dimensionamento proposto pela NBR 9077: 2001, considerando também a inexistência da rampa. Isso porque, devido a localização muito próxima de uma das escadas à rampa, presumiu-se que na ausência dessa, duas escadas dimensionadas de acordo com a normalização, teria o mesmo efeito no tempo total de escape, favorecendo a diminuição de custo de construção para a obra. A escada da

esquerda que, no projeto possui 1,15m passou a ter 1,45m, enquanto que a da direita permaneceu com sua largura de 1,65m. A soma das duas resulta em 3,10 m, ou seja, cinco unidades de passagem, e de acordo com o recomendado pela norma para essa edificação.

Os resultados necessários a serem demonstrados nesse cenário são os tempos finais de escape para as duas principais portas de saída, por onde passam os últimos ocupantes a abandonarem a edificação. Esses dados encontram-se na Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Resumo da Simulação do Estudo 3 – Cenário 2 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 3 – Cenário 2			
Mode:	Steering			
Total Occupants:	1.210			
Exit Times (s):				
Min:	1,56			
Max:	229,3			
Startup Time:	0,1s			
ROOM / DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers)
Floor 0,40 m-> Door00	6,2	205,7	318	1,59
Floor 0,40 m-> Door04	3,2	229,3	615	2,72

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Com a adaptação das escadas, de acordo com as normas, o tempo máximo de saída foi de 229,3 segundos (3,82 minutos). Diminuiu muito pouco em relação ao tempo total do cenário anterior, que foi de 231,8 segundos (3,86 minutos). Porém, quanto à última pessoa que saiu pela porta “Door04”, seu tempo aumentou de 206,8 segundos para 229,3 segundos. O tempo foi melhor no cenário 1, com a presença de escadas e rampa. Mesmo que pequena, essa diferença pode ser fundamental para o escape seguro de um maior número de pessoas.

Apesar desse resultado, os tempos não foram demasiadamente diferenciados, presumindo-se, assim, que as escadas e a rampa pouco afetaram o tempo total de escape. Para haver uma melhoria nesse tempo, a diferença poderia estar na largura das portas de saída, que aglomeram por um longo tempo um grande número de ocupantes desejosos em sair da edificação, especialmente a porta “Door00” que possui no cenário 2, por exemplo, um fluxo de 1,59 pessoas por segundo, enquanto que a porta “Door04” possui um fluxo de 2,72 pessoas por segundo (Figura 5.37). A largura da porta indicada na figura é de 1,20m e outras

simulações podem ser realizadas para que se comprove o efeito de outras medidas de largura na redução do tempo total de fuga para as pessoas dessa edificação.



Figura 5.36: Aglomeração dos ocupantes na saída "Door00" - Cenário 2 do Estudo 3

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

CENÁRIO 3 – Escadas enclausuradas – Escola de Enfermagem – PATHFINDER

O cenário 3 considerou as duas escadas ("*Stair08*", a da esquerda e "*Stair16*" a da direita) como enclausuradas, ou seja, protegidas conforme a NBR 9077. Os tempos verificados foram os correspondentes aos últimos ocupantes que acessaram essas escadas e encontram-se na Tabela 5.11 como "*LAST IN*".

Para a "*Stair08*" existem dois valores, o primeiro corresponde a um grupo de pessoas que se encontravam mais próximos a essa escada; o outro valor é de um grupo de pessoas as quais por estarem aglomeradas ao tentarem descer pela escada da direita ("*Stair16*"), optaram por se locomover à escada da esquerda que já se encontrava mais livre. Então, o tempo de acesso à escada da esquerda pelo primeiro grupo foi de, no máximo, 53,9 segundos, ou seja, 0,9 minutos e pelo segundo grupo foi de 171,4 segundos, igual a 2,8 minutos. Já o tempo do último ocupante a acessar a escada "*Stair16*" foi de 211,3 segundos, 3,5 minutos.

Tabela 5.11: Resumo da Simulação do Estudo 2 – Cenário 3 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 3 – Cenário 3	
Mode:	Steering	
Startup Time:	0,1s	
STAIR	FIRST IN (s)	LAST IN (s)
Stair08	2,5	53,9 / 171,4
Stair16	4,5	211,3

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Os tempos para a primeira escada – "*Stair08*", a da direita – encontram-se muito bons quando comparados com o tempo máximo estabelecido pela NBS, de 2,5 minutos. Já o tempo

na outra escada – “*Stair16*”, da esquerda –, apresentou uma ínfima melhora em relação aos demais cenários. Isso indica que, o fluxo da escada da direita juntamente com a porta de saída mais próxima a ela estava correndo de uma maneira positiva. O ocupante que por último acessou essa escada e se encontrou em segurança também foi o último que abandonou a edificação e fez isso pela porta “*Door04*”, cujos tempos foram analisados no cenário anterior; esse usuário acessou a escada e, em poucos segundos, abandonou a edificação. Assim, acredita-se que para que o tempo de fuga até um local seguro desse ocupante seja otimizado, não é uma escada enclausurada que o fará, mas, possivelmente, um aumento nas larguras dos componentes (escada e porta de saída para o exterior).

Ressalta-se aqui que a discussão gira em torno do que foi constatado pela simulação computacional e visa uma situação ideal que segue as normas e padrões de segurança estabelecidos previamente. Porém, isso não se despreza o fato de que um tempo de 3,5 minutos pode ser eficaz em uma situação real, mesmo se maior que o estabelecido pela NBS, de 2,5 minutos.

CENÁRIO 4 – Saída pela cobertura – Escola de Enfermagem – PATHFINDER

No presente cenário, a simulação foi feita considerando uma saída a mais pela cobertura. O tempo final de escape é apresentado na Tabela 5.12 junto com as outras informações de identificação dessa simulação. Esse tempo foi de 216,5 segundos (3,60 minutos) e diminuiu em relação ao cenário 1, porém em apenas 16 segundos.

Tabela 5.12: Resumo da Simulação do Estudo 3 – Cenário 4 no PATHFINDER

Simulation:	Estudo 3 – Cenário 4
Mode:	Steering
Total Occupants:	1.210
Exit Times (s):	
Min:	1,5
Max:	216,5
Startup Time:	0,1s

Fonte: PATHFINDER, 2014

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Assim como foi verificado nos cenários semelhantes a esse, realizados nos estudos anteriores, presumiu-se que, com uma saída a mais, o tempo de fuga fosse reduzido, o que não

foi observado para nenhum dos casos. O tempo diminuiu, mas não o suficiente para causar uma grande mudança no total. Pressupõe-se que, com a criação de saídas em outros locais da edificação, esse resultado seja diferente e alcance o que de início era esperado. Com uma saída pela cobertura, os usuários encontram dificuldades como a locomoção, uma vez que: precisam subir escadas ao invés de descer; possíveis aglomerações caso existam dois tipos de fluxo na escada, o ascendente e o descendente; necessidade de uma boa e clara sinalização; e, possivelmente, a necessidade da presença de pessoas treinadas para orientar a saída por uma área menos acessada e menos conhecida pela maioria da população ali presente.

5.3.3. Simulações do edifício 3 com o DEPTHMAP

As simulações no DEPTHMAP seguem a mesma ordem dos cenários realizados no PATHFINDER e a mesma ordem de análise das propriedades da SE dos estudos anteriores.

CENÁRIO 1 – Escadas convencionais e livres – Escola de Enfermagem – DEPTHMAP

A primeira medida a ser apresentada é a conectividade. Na Figura 5.38 encontram-se as linhas mais e menos conectadas, conforme a legenda de cores existente na própria figura. A linha mais conectada encontra-se no andar térreo e aparece bem destacada em relação às demais; já as menos conectadas estão distribuídas entre todos os andares da edificação.

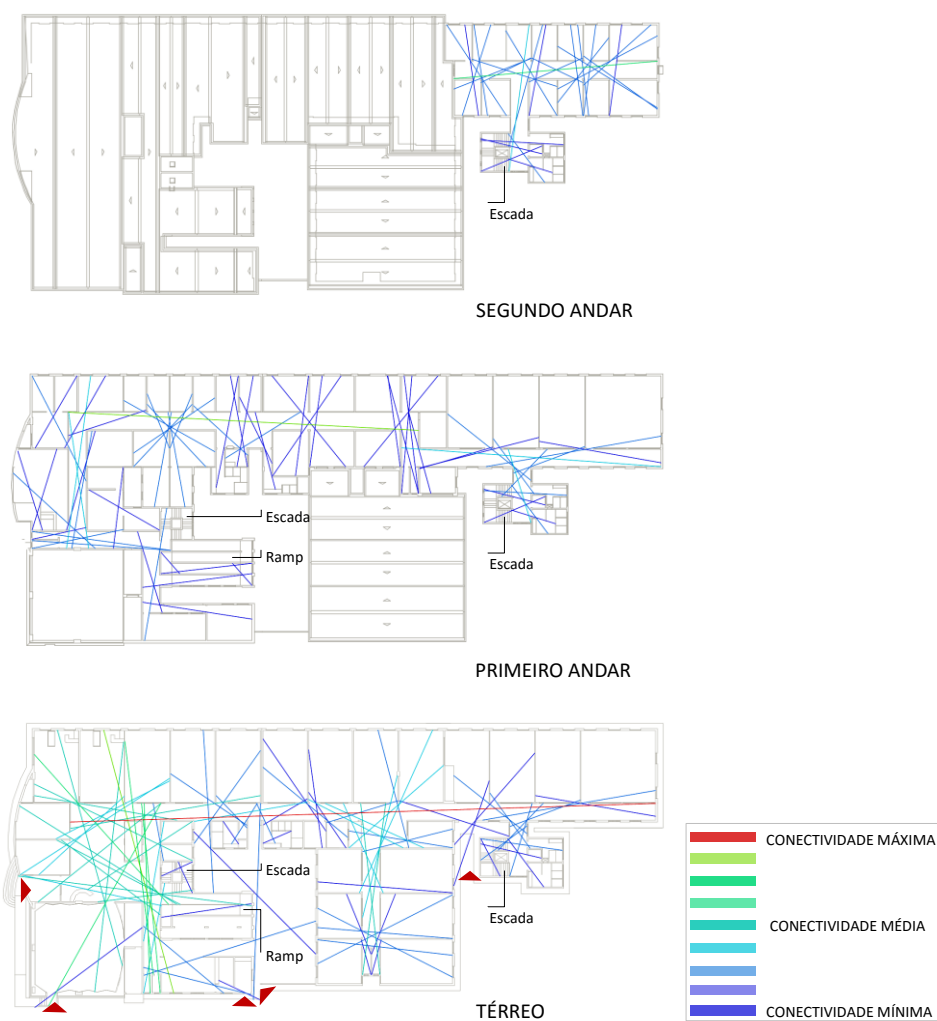


Figura 5.37: Mapa axial de conectividade com indicação das saídas no térreo – Enfermagem

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

O resultado apresentado na Figura 5.38 mostrou o destaque para um dos eixos principais no andar térreo, o qual liga boa parte dos ambientes desse pavimento e se configura como o principal eixo de circulação da edificação.

Nesse estudo, não se identificou uma predominância de eixos bem conectados em áreas sociais e a falta dessa alta conectividade em áreas de serviço. Aqui, os ambientes encontram-se distribuídos de maneira mais homogênea quanto às possibilidades de caminhos e quanto à acessibilidade em cada pavimento quando comparado aos estudos anteriores. Apenas um dos eixos no andar térreo se destaca, o qual liga boa parte dos ambientes desse pavimento e se configura como o principal eixo de circulação da edificação. Isso acarreta a atenção quanto à sinalização de emergência que esse trecho, no caso um grande corredor,

deve receber; a orientação do transeunte deve ser facilitada em favor da sua segurança, principalmente em situação de fuga.

A segunda medida apresentada é a Integração (Figura 5.39), com o objetivo de identificar as linhas com maior potencial de movimento, ou seja, aquelas onde existem uma tendência natural das pessoas transitarem. Recebe destaque na figura o eixo que atravessa todo o corredor mais comprido do andar térreo, por ser o mais integrado e, coincidentemente, o mais conectado do sistema. Os blocos de escada também são bem integrados, um ponto favorável para uma situação na qual esses elementos precisam ser acessados da maneira mais rápida possível, especialmente em um caso de incêndio. No projeto como um todo, observa-se a predominância das cores de integração máxima e média; a configuração da planta favorece a integração no sistema.

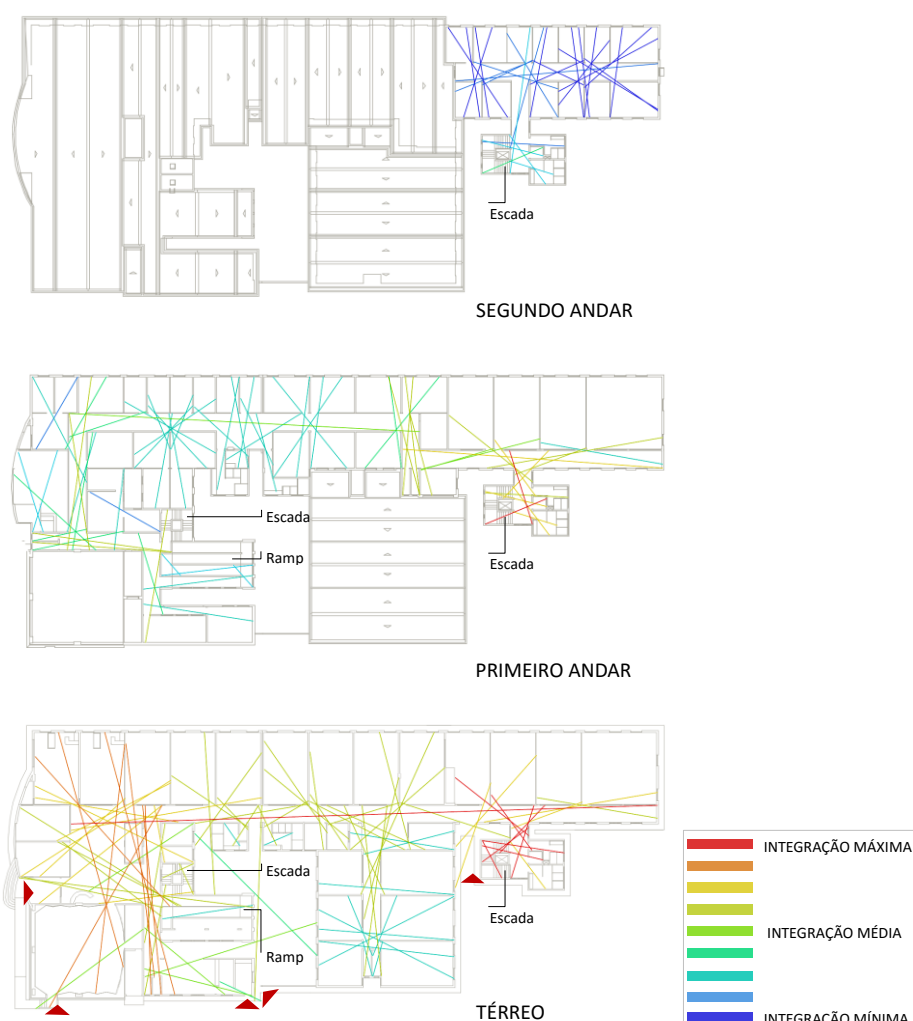


Figura 5.38: Mapa axial de Integração com indicação das saídas no térreo – Enfermagem

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

A escada da direita, por interligar ambientes dos três andares, possui um alto nível de integração e, conseqüentemente, maiores possibilidades de aglomeração durante o escape da população em um caso de incêndio. Por ser um ambiente bem integrado, é um local crítico onde muitas pessoas estarão circulando. Essa é uma consequência esperada para um bloco de escada e, por isso, desvela a importância que esses elementos possuem em uma situação de evacuação do prédio. Seu dimensionamento deve estar correto para que o tempo de escape de toda a população seja o mais curto possível.

Para verificar a inteligibilidade da configuração espacial, efetuou-se também nesse estudo 3 o cálculo da correlação entre as duas medidas apresentadas, conexão e integração. Obteve-se como resultado para todo o sistema o valor de 0.185331, ou seja, 18%, que indica uma fraca correlação (Figura 5.40). Porém, com o cálculo para cada andar, o resultado foi de 66% (forte) para o térreo, 35% (fraca) para o primeiro andar e 86% (muito forte) para o segundo (Figura 5.41).

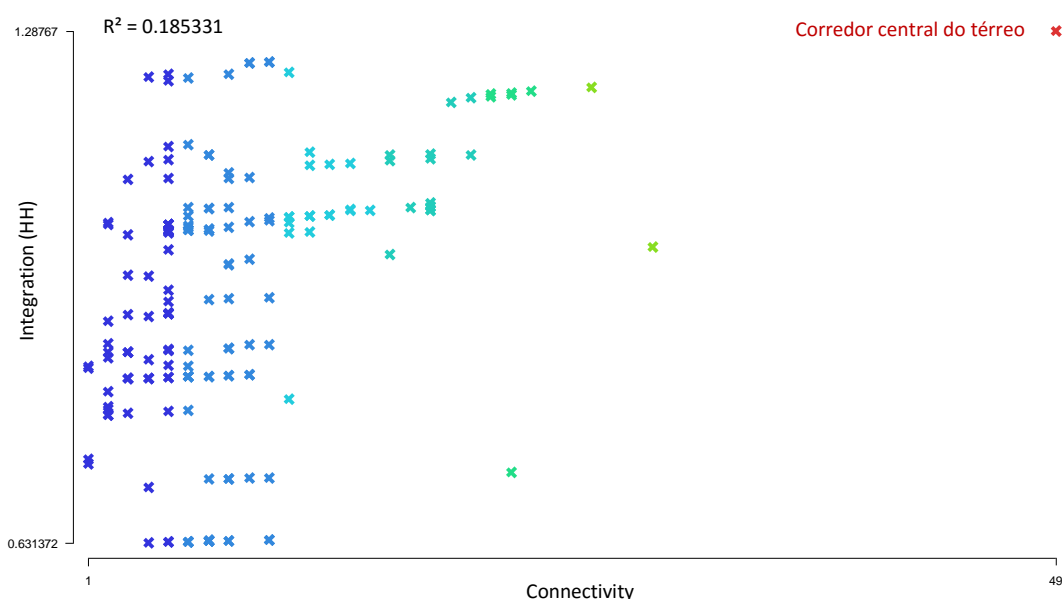


Figura 5.39: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para todo o sistema – Enfermagem

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

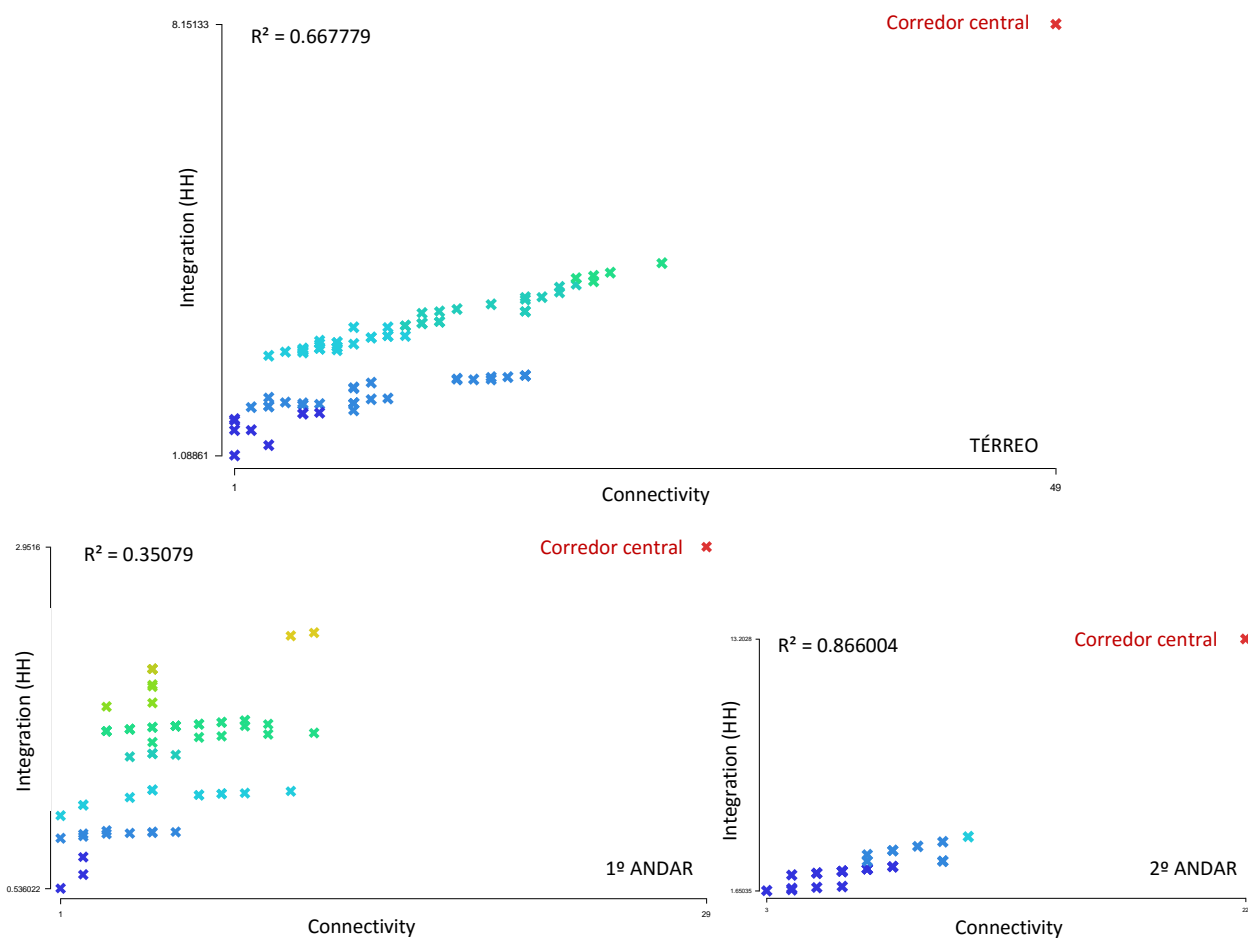


Figura 5.40: Gráfico de correlação Integração x Conectividade para cada andar – Enfermagem

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Observa-se que, dos três andares, o primeiro é o menos inteligível; há uma maior compartimentação dos ambientes e, com isso, diminui-se o senso de orientação do transeunte ali presente. Contudo, percebe-se a predominância da inteligibilidade nos corredores centrais e, no sistema como um todo, a presença de muitos eixos bem integrados e pouco conectados, o que é favorável em uma situação de escape, conforme está explicado no capítulo 6.

A análise do *step depth* apresenta os resultados para o cenário 1 na Figura 5.42. Observa-se a presença de 10 níveis de profundidade, dos quais nota-se uma predominância de linhas nos níveis 1, 2 e 8.

Os ambientes mais segregados estão no terceiro andar e incorporam o menor número de usuários da edificação. Portanto, para este caso, acredita-se que não seria viável o projeto de uma saída de emergência para a área mais segregada, uma vez que, ali, apenas um pequeno número de ocupantes seria atendido e um aumento no gasto da obra seria

desnecessário – pois não causaria um grande impacto na redução do tempo de abandono dos ocupantes. Essa afirmação também foi confirmada na simulação do cenário 4 a partir da simulação realizada no PATHFINDER.

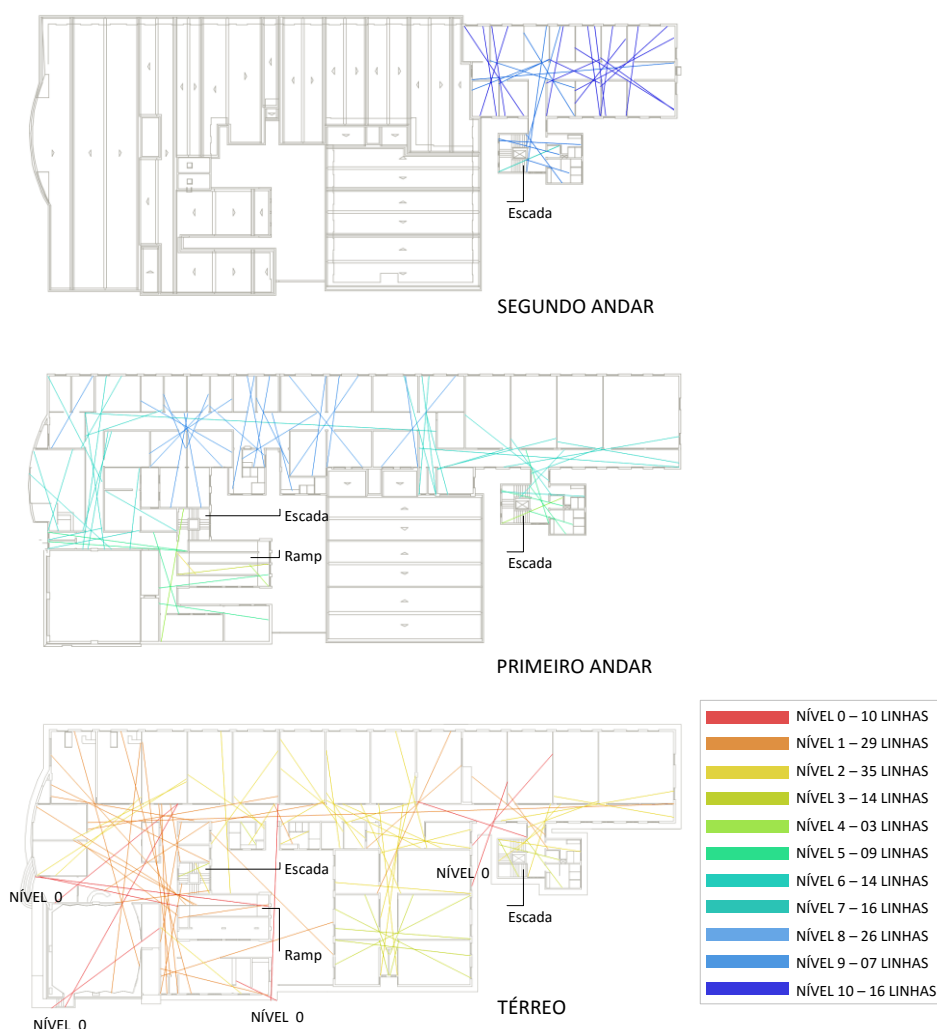


Figura 5.41: Mapa axial de Profundidade – Cenário 1 – Enfermagem

Fonte: DEPTHPMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

As pessoas que passarão pelos dois primeiros eixos precisam vencer apenas de um a dois níveis para encontrar uma saída, o que mostra uma situação vantajosa. Além disso, todas as linhas até o nível três estão no andar térreo, caracterizando outra vantagem, pois as pessoas ali presentes necessitam efetuar até no máximo três mudanças de direção para alcançar o local mais seguro em uma situação de incêndio: a área externa à edificação.

CENÁRIO 2 – Escadas ajustadas à NBR 9077:2001 – Escola de Enfermagem – DEPTHMAP

Neste estudo do prédio da Escola de Enfermagem o cenário 2, já simulado no PATHFINDER, foi desconsiderado para o DEPTHMAP, uma vez que a mudança das larguras das escadas não afeta a tendência de movimento das pessoas ao longo da configuração espacial da edificação em termos topológicos. A ausência da rampa, por sua vez, diminuiria a acessibilidade às saídas no andar térreo, uma vez que os transeuntes teriam menos uma possibilidade de escape.

CENÁRIO 3 – Escadas enclausuradas – Escola de Enfermagem – DEPTHMAP

O terceiro cenário admite a presença de escadas enclausuradas ao invés das convencionais existentes no projeto. Para essa situação o cálculo da profundidade é afetado, uma vez que ela é medida por meio da mudança de direção da visão de um usuário a partir do ambiente em que se encontra até as escadas protegidas, no primeiro e segundo andar, e até as saídas para o exterior, no térreo da edificação. O resultado desse cenário encontra-se na Figura 5.43. Os seis níveis de profundidade encontrados estão distribuídos pelos quatro andares, porém é apenas no primeiro andar onde se encontram os níveis de quatro a seis. No térreo e segundo andar as mudanças de direção que devem ser vencidas pelos ocupantes vão de zero a três.



Figura 5.42: Mapa de visibilidade e níveis do *Visual Step Depth* – Enfermagem

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Essa é uma situação vantajosa para a configuração das plantas-baixas. Percebe-se que, no térreo, a predominância é das cores laranja e amarelo, o que implica em apenas duas mudanças de direção para se visualizar uma das saídas ao exterior da edificação. Duas mudanças é o ideal em uma situação de fuga, pois não há dúvida da direção que se deve seguir, não há mais de dois caminhos a serem escolhidos e, por isso, menor a possibilidade de um ocupante escolher um caminho errado e se perder na edificação.

CENÁRIO 4 – Saída pela cobertura – Escola de Enfermagem – DEPTHMAP

O último cenário é aquele que simula a situação de fuga com uma saída a mais para o exterior da edificação e seu resultado é mostrado na Figura 5.44.

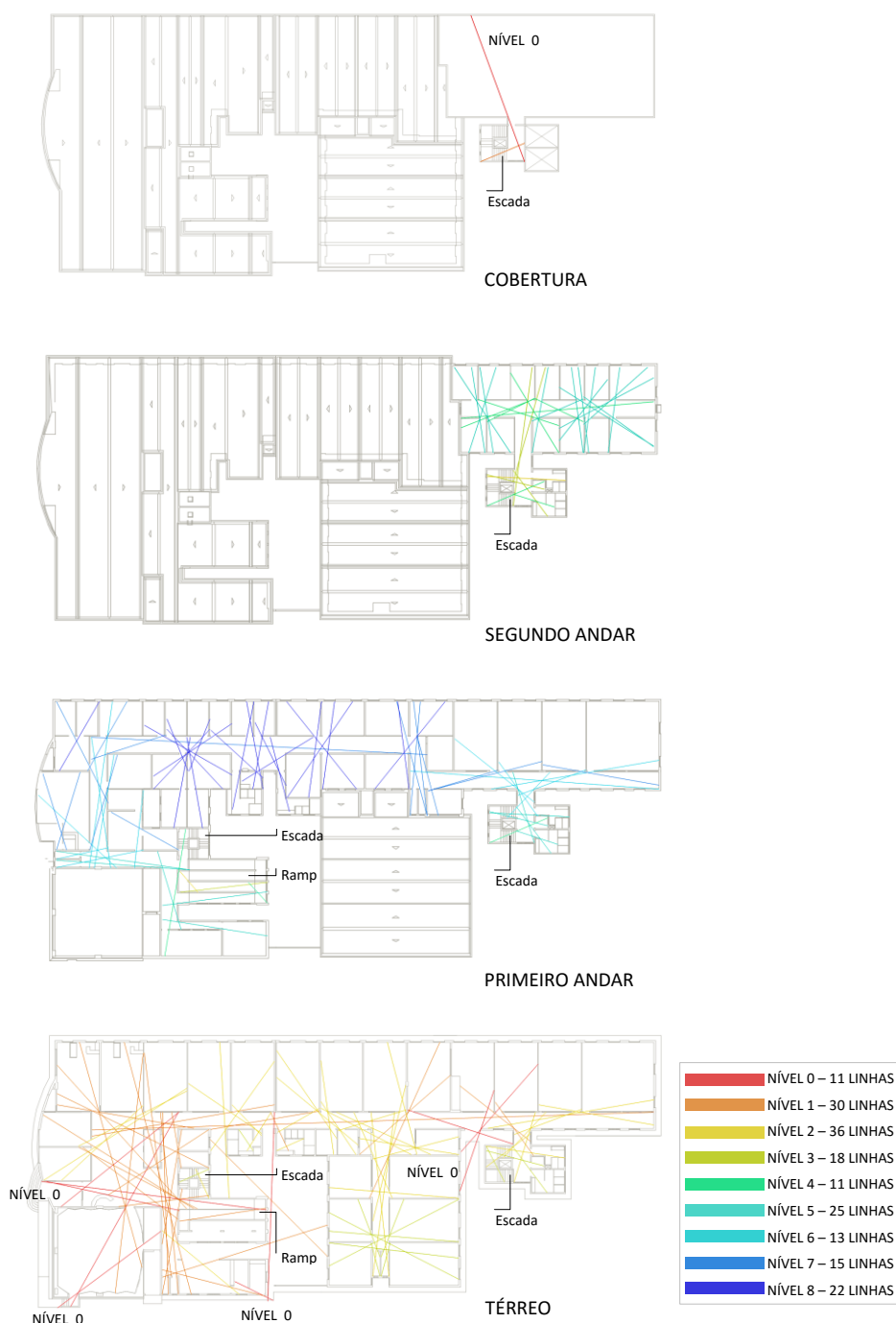


Figura 5.43: Mapa axial de Profundidade – Cenário 4 – Enfermagem

Fonte: DEPTHMAP, 2004

Nota: Elaborado pela autora, 2015

Diante do resultado exposto, percebe-se que houve uma diminuição dos níveis de profundidade, se comparado ao primeiro cenário. Os níveis que mais sofreram alteração no número de linhas foram o quatro e o cinco. Com isso, foi no segundo andar, seguido do primeiro, onde as cores mais se diferenciaram. Essa última simulação apresentou vantagem quanto ao número de mudanças de direção necessárias para se alcançar uma das saídas da edificação. Os ocupantes do segundo andar encontram-se mais próximos a um local de escape do prédio. Caso se analise a simulação no DEPTHMAP de forma isolada, não levando em consideração os resultados já obtidos no PAHTFINDER, ela se mostra vantajosa em comparação à outra. No capítulo 6 está a confluência entre os resultados obtidos nos dois *softwares*, mostrando as considerações finais para esse e demais pontos levantados no capítulo 5.

6. CONCLUSÕES: INTERAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E A NORMALIZAÇÃO

Um dos motivos de cada prédio possuir a presente configuração espacial se deve ao cumprimento do que foi proposto pela NBR 9077:2011 e pelo CBMRN com a IT 11:2014. Elas estão incorporadas na decisão do projetista para a determinação dos materiais, da forma final, da distribuição dos ambientes, entre tantas atribuições de um projeto arquitetônico. Os quesitos de SCI são parte deles e auxiliam no dimensionamento dos elementos que compõe as saídas de emergência.

De início, pretendia-se que as edificações seguissem à risca os parâmetros da regulamentação de SCI para que os resultados das simulações pudessem ser confrontados diante do real dimensionamento prescritivo proposto. Por essa situação ideal não ter sido atingida, como percebido após as análises das edificações e confecção dos quadros com suas características, o diálogo entre os resultados indicados pelas simulações e a normalização foi desenvolvido diante da realidade de cada edificação, mas atentando-se sempre às prescrições normativas que foram, ou não, atendidas em projeto.

Diante desse contexto, em cada simulação efetuada, foram levadas em consideração as configurações prediais estabelecidas com auxílio das normas e dos cenários ali avaliados. Foram obtidos diferentes resultados no que tange às saídas de emergência e o eficaz abandono das edificações pelos usuários que as ocupam. A interação desses resultados em cada cenário com as normas foi realizada, atentando-se a responder à questão problema da pesquisa, a atingir os objetivos e a verificar os itens enunciados no capítulo introdutório do presente trabalho: distância máxima a ser percorrida até um local seguro; número e dimensionamento das saídas de emergência; posicionamento das escadas; tempo total de fuga para um usuário na edificação; e aspectos de movimentação do ocupante.

6.1. RESULTADOS DO PATHFINDER

Os cenários – Cenário 1: Escadas convencionais livres; Cenário 2: Escada da esquerda desativada; Cenário 3: Escadas enclausuradas; e Cenário 4: Saída pela cobertura – realizados, no PATHFINDER, foram semelhantes para os três estudos – Estudo 1 (Prédio da EC&T); Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias); e Estudo 3 (Prédio da Escola de Enfermagem) –, com exceção do Cenário 2 no Estudo 3, o qual simulou as Escadas ajustadas à NBR 9077:2001.

Este item apresenta considerações a respeito dos resultados das simulações e, por meio de um quadro, expõe os principais resultados obtidos a partir das análises em cada cenário e os estudos a que eles estão relacionados. As letras em sequência servem para associar cada resultado aos seus comentários posteriormente proferidos (Quadro 6.1).

PATHFINDER			
CENÁRIO	RESULTADOS		ESTUDO
1	A	A distância métrica de um usuário na edificação não foi o único fator responsável pelo aumento do tempo de evacuação. Verificou-se que a aglomeração devido à grande quantidade de pessoas nos corredores principais e nas escadas foi o principal motivo para um prolongado tempo de fuga.	1
		Relação mais próxima entre a distância métrica e o tempo total de evacuação. Confirma-se a suposição de que quanto maior a distância métrica em que uma pessoa se encontra da saída, maior tende a ser o seu tempo de escape.	2, 3
		Escadas não enclausuradas geraram aumento do tempo de escape total	1, 2, 3
		Os tempos de escape são prolongados devido ao grande número de ocupantes na edificação que se aglomera nas escadas e retarda a evacuação	1, 2, 3
2	B	As dimensões dos elementos das rotas de fuga e o número máximo de ocupantes gera grande influência no tempo total de escape. A melhoria nesse tempo pode estar no redimensionamento desses quesitos, que contribuem para o aumento da aglomeração de ocupantes desejosos em sair da edificação	1, 2, 3
		Não teve escada desativada, mas escadas reajustadas para estarem de acordo com a NBR 9077. Os tempos sofreram apenas pequenas mudanças, ou seja, as escadas pouco afetaram o tempo total de escape.	3
		Com uma escada a menos, o tempo de escape foi maior	1, 2
3	C	Parte dos ocupantes da edificação conseguiram abandonar o prédio em um tempo muito próximo ao estabelecido pela NBS.	3
		Com as escadas consideradas enclausuradas, os tempos de escape foram reduzidos. Contudo, ainda insatisfatórios quando comparados ao tempo de 2,5 minutos estabelecido pela NBS	1, 2
	D	Para que o tempo de fuga até um local seguro de um ocupante seja otimizado, não é uma escada enclausurada que o fará, mas, possivelmente, o redimensionamento dos componentes (escadas e portas de saída) ou da população máxima permitida para a edificação.	3
4	E	Os tempos finais de escape foram pouco influenciados, o que não justificaria a instalação de uma saída a mais pela cobertura.	1, 3
		O resultado mais vantajoso analisado para esse estudo. Apesar de não ter alcançado os 2,5 minutos propostos pela NBS, a simulação mostrou que uma saída alternativa pode oferecer uma proteção mais rápida aos usuários da edificação.	2

Quadro 6.1: Resultados obtidos pelo PATHFINDER para cada Cenário e Estudo

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

Diante do resumo dos resultados de cada um dos três estudos nos quatro cenários (Quadro 6.1), algumas considerações foram feitas.

A) Uma das informações adquiridas com as simulações no PATHFINDER é a de que existe uma relação direta entre a distância métrica e a possibilidade em se realizar um escape dentro do tempo ideal de 2,5 minutos. Constatou-se no cenário 1 dos estudos 2 e 3 que quanto maior a distância métrica em que uma pessoa se encontra da saída, maior tende a ser o seu tempo de escape. Porém, ao se observar o resultado desse mesmo cenário para o estudo 1, o número de pessoas na edificação causou um impacto muito maior no tempo máximo de escape da pessoa mais distante da saída de emergência do que a própria distância em si, considerando que foi utilizada a população máxima possível e que isto, na prática, tende a acontecer em horários dispersos. Esse é um ponto amenizador para o alto tempo de escape constatado principalmente nos cenários 1 e 2.

B) Assim como as escadas não enclausuradas geraram aumento no tempo total de escape, constatou-se que o número máximo de ocupantes de uma edificação também interfere diretamente nesse tempo, especialmente quando analisado em conjunto com as saídas de emergência existentes. Percebeu-se que nem sempre a distância de um usuário, ou a largura subdimensionada de uma das escadas, é o que mais afeta o tempo de fuga da edificação, mas a aglomeração de pessoas nos locais nas saídas. Isso leva a indicação de que tal quesito deve ser tratado com mais cuidado nas normas de SCI para um projeto arquitetônico.

A quantidade máxima da população, junto às escadas, não deve comprometer a segurança dos usuários de uma edificação, porém, essa situação foi observada em alguns dos cenários. Nessas simulações, verificou-se uma adversidade no tempo total de escape, notando-se uma lacuna existente nas normas quanto ao dimensionamento para as saídas de emergência, incluindo as escadas, que considera a população para o cálculo das saídas apenas de maneira indireta por meio da área em planta da edificação. Este procedimento, conforme resultados das simulações realizadas, não é eficaz para um tempo total de fuga seguro, pois o grande número de pessoas admitidas para a edificação compromete a eficácia no escape. Ou esse número seria reduzido, ou o dimensionamento das saídas seria alterado. Nesse caso, cabe ao projetista avaliar a segurança dos usuários acima do custo final da obra.

C) Diante dos tempos de escape total resultantes das simulações, quando os mesmos são relacionados ao tempo ideal de fuga estabelecido pela NBS *Building Regulations* (2006) de 2,5 minutos, a minoria dos resultados se assemelharam ou se aproximaram do tempo previsto por essa norma. No entanto, ressalta-se que a discussão do presente trabalho gira em torno

do que foi constatado por simulações computacionais e visa discutir situações ideais nas quais as normas de SCI seriam colocadas em prática como devem ser.

Assim como esse tempo, a velocidade utilizada nas simulações, de 1,3 m/s, não partiu de dados brasileiros. A velocidade escolhida foi a mais rápida, de 1,3 m/s, retirada de estudos com chineses. Os dados obtidos com as simulações partiram dessa velocidade e já não se apresentaram tão satisfatórios quanto a sua relação com o tempo total de escape. Caso a velocidade utilizada fosse menor, esse tempo seria ainda pior.

Todavia, acredita-se que tais valores, mesmo não sendo brasileiros, são válidos como parâmetros de pesquisa. Diante da carência nesse tipo de informação, defende-se o estudo e a tomada de providências no Brasil. É necessário que dados brasileiros sejam averiguados para que se alcance resultados concernentes com o tipo de população que, de fato, ocupa as edificações no país.

Devido a maior parte das simulações contar com escadas não enclausuradas, o tempo total de escape encontrado até que o ocupante da edificação atinja um local seguro foi ampliado consideravelmente. O fato das escadas existentes não serem protegidas agrava a situação, pois, nelas, as pessoas, além de estarem aglomeradas, não podem ser consideradas seguras. Nos cenários 2 dos Estudos 1 e 2, o projeto da edificação está fiel aos parâmetros estabelecidos pelo código estadual. O fato do tempo de fuga total obtido ser muito elevado é caso de se fazer um alerta ao cuidado que essa regulamentação deve ter quanto ao dimensionamento das saídas de emergência, uma vez que não exige escada protegida para esses tipos de ocupações com sua população máxima.

Outro artifício que pode vir a diminuir o tempo total de escape, e que não é muito enfatizado no Brasil, é o treinamento para situações de emergência. Com treinamentos de abandono os usuários se tornam mais familiarizados com a edificação e como devem proceder em uma situação real. A familiaridade com os caminhos a percorrer pode ajudar a aumentar a velocidade e a reduzir o tempo de escape das pessoas.

D) Durante realização das simulações, especialmente as relacionadas aos terceiros cenários de cada estudo, foi feita uma observação quanto aos locais protegidos e as distâncias máximas percorridas citados pelas normas. Nesses cenários, mesmo que um usuário alcance um dos blocos de escada protegida no primeiro ou segundo andar, ele ainda

precisará se locomover pelo andar térreo para abandonar totalmente a edificação. A NBR 9077 (2001, p. 6), em seu tópico 4.5.2 admite as escadas protegidas como um local seguro aos usuários: “[...]um local seguro (espaço livre exterior, área de refúgio, escada protegida ou à prova de fumaça) [...]”. Porém, esse é um ponto que merece reflexão, uma vez que mesmo adentrando uma dessas escadas, ainda existe a necessidade de locomoção pelo andar térreo para que um usuário alcance uma das saídas ao exterior da edificação e, aí sim, esteja no maior grau de segurança possível.

A IT 11, por sua vez, também cita as escadas protegidas ao falar das distâncias máximas a serem percorridas, mas, as associa a um local de “relativa segurança” e não a um local “realmente seguro”. Apesar disso, a distância máxima a ser percorrida sugerida pela IT 11 é contabilizada até as escadas, sendo elas enclausuradas ou não, o que, a depender do tipo, pode vir a ser prejudicial para a segurança de um usuário – como o caso de uma escada não protegida ser considerada como um local de relativa segurança.

O termo “local seguro” parece ser equivocado, principalmente em prédios como os apresentados neste trabalho, que possibilitam a presença de um grande número de usuários e, conseqüentemente, uma aglomeração dentro e em volta dos blocos de escada até que todos os ocupantes tenham abandonado a edificação.

Nas simulações realizadas, para que os resultados fossem relacionados à análise do posicionamento das escadas nas edificações, essas observações não foram levadas em consideração. Cabe então, neste item, destacar outra lacuna no que se encontra especificado pelas normas, ao afirmarem que escadas enclausuradas são, de fato, protegidas. Elas podem ser, contanto que trabalhem em conjunto com as saídas para o exterior da edificação, as quais devem estar bem localizadas, preferencialmente o mais próximo possível das saídas das escadas, e corretamente dimensionadas. Como indicação para uma plausível solução, as distâncias máximas a serem percorridas poderiam ser contabilizadas em cada andar até uma das escadas protegidas, somadas às distâncias das escadas até uma das saídas para o exterior da edificação no térreo ou no pavimento onde essas saídas se encontram.

E) As últimas considerações aqui relatadas a respeito dos resultados obtidos com o PATHFINDER relacionam-se aos cenários 4. O pressuposto resultado para esse cenário era de que, com a criação de saídas em outros locais da edificação, o tempo total de fuga fosse diminuído, tornando-se mais vantajoso a garantir a segurança de maneira mais rápida aos

ocupantes das edificações. Esse resultado foi alcançado no Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias), no entanto, é importante destacar que, com saídas nos pavimentos de cobertura, os usuários podem encontrar dificuldades com, por exemplo: a locomoção, devido à subida das escadas ao invés da descida; as aglomerações devido a dois tipos de fluxo na escada, o ascendente e o descendente; a necessidade de uma sinalização de emergência eficaz e possivelmente da presença de pessoas capacitadas para orientar a saída por uma área menos acessada e menos conhecida pela maioria da população ali presente.

Uma área de refúgio na cobertura seria positiva para o caso de um incêndio que, se alastrando por um dos andares, começasse a impedir que os ocupantes descessem para os andares inferiores, justificando a alternativa como uma boa opção na necessidade de subir ao invés de descer para alcançar um local seguro. Ela é uma opção possível diante de uma situação específica ou ideal e adaptada.

Contudo, ao final das análises, constata-se que os resultados desse último cenário não apresentaram vantagens suficientes a ponto de que, aqui, se defenda a instalação de uma área de refúgio na cobertura para as edificações estudadas. Diante dos apontamentos de dificuldades e necessidades que uma fuga por essa área pode acarretar, uma saída pela cobertura seria pouco usual ou desnecessária. Posteriormente, outros cenários, com diferentes posicionamentos para saídas extras podem ser simulados, a fim de avaliar sua influência no tempo total de fuga.

6.2. RESULTADOS DO DEPTHMAP

Todos os cenários realizados no DEPTHMAP foram semelhantes para os três estudos – Estudo 1 (Prédio da EC&T); Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias); e Estudo 3 (Prédio da Escola de Enfermagem). Com isso, este item do trabalho apresenta considerações a respeito dos resultados das simulações realizadas com base em cada um dos quatro cenários – Cenário 1: Escadas convencionais livres; Cenário 2: Escada da esquerda desativada (para o Estudo 3: Escadas ajustadas à NBR 9077:2001); Cenário 3: Escadas enclausuradas; e Cenário 4: Saída pela cobertura. No Quadro 6.2 estão dispostos os principais resultados obtidos, e, assim como no tópico anterior, as letras ao lado de cada um desses resultados os associa aos seus respectivos comentários, apresentados em seguida.

DEPTHMAP			
CENÁRIO	RESULTADOS		ESTUDO
1	A	Existência de longos eixos que se ligam a muitos ambientes e se configuram como os principais eixos de circulação da edificação. Esses eixos assim, mais do que outros, necessitam de uma boa sinalização de emergência	1, 2, 3
		Os eixos que possuem mais conexões com os demais outros do sistema são favoráveis à SCI e à acessibilidade pois ligam-se diretamente ou estão próximos às saídas de emergência.	1, 2, 3
		Nos eixos com muitas conexões a aglomeração de pessoas também tende a ser maior, o que gera uma dificuldade no escoamento e aumento no tempo total de abandono.	1, 2, 3
	B	Uma vez que as linhas mais integradas tendem a ser as mais acessíveis do sistema, é um ponto positivo para a edificação que os elementos como corredores e escadas sejam aqueles que contém esses eixos bem integrados.	1, 2, 3
		A tendência de maior movimentação dos ambientes também depende do uso e número de usuários, não só do seu nível de integração. O térreo não contém os eixos mais integrados do sistema, mas contém elementos de atração para um grande número de pedestres em circulação.	1, 2
	C	O sistema como um todo não deveria ser considerado inteligível, porém, com o cálculo para cada um dos andares separados, verificam-se valores que revelam uma configuração mais inteligível, ou seja, fácil de ser assimilada.	1, 2, 3
	D	A maioria dos eixos são profundos em relação às saídas ao exterior (localizadas no andar térreo). Porém, confirmou-se que a quantidade de pessoas e o potencial de movimento nesses trechos é menor, ponto favorável para a edificação.	1, 2, 3
2	E	O sistema se tornou mais profundo com a desativação de uma das escadas, diminuindo, conseqüentemente, a acessibilidade à área segura	1
		Não houve alteração no número de mudanças de direção para alcançar a área externa da edificação, que permaneceu a mesma do cenário 1	2
3	F	Considerando o alcance às escadas protegidas, os resultados mostraram uma melhoria em relação aos níveis de profundidade: são necessárias menos mudanças de direção para alcançar os corredores principais ou os próprios locais considerados seguros.	1, 2, 3
4	G	A área segura (exterior do edifício) tornou-se mais acessível aos usuários da edificação	1, 2, 3

Quadro 6.2: Resultados obtidos pelo DEPTHMAP para cada Cenário e Estudo

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

A) As primeiras considerações aqui apresentadas relacionam-se aos cenários do tipo 1 – Escadas convencionais livres, no qual os primeiros resultados encontrados dizem a respeito dos níveis de conectividade, ou seja, mostram o quanto os eixos que permeiam os ambientes de cada edificação estão conectados em relação uns com os outros. Como mencionado no capítulo 5, uma pessoa estando em um desses trechos mais conectados possui mais possibilidade de exploração, e de se locomover para vários outros lugares. Essa pode ser uma vantagem em termos de noção dos espaços e senso de localização, especialmente por alguém

familiarizado com a edificação. Porém, em vista ao escape em uma situação de incêndio, levando-se em conta a presença de pessoas que não conhecem bem a edificação e a possibilidade dessas pessoas estarem afetadas pelo nervosismo da situação, trechos ou ambientes com muitas conexões tendem a ser confusos. Isso significa que o caminho ou a própria saída de emergência podem não ser encontrados facilmente.

A configuração espacial de uma edificação deve cooperar para a segurança das pessoas ali presentes; sua principal meta é direcionar o usuário até a saída sem que ele se perca no percurso ou fique em dúvida sobre qual caminho tomar. Os três estudos analisados apresentaram resultados positivos quanto ao posicionamento dos eixos com maior conectividade, pois se ligam diretamente ou estão próximos às escadas nos andares superiores e às portas para a saída da edificação no térreo. Isso evita que o transeunte se confunda no momento de escolher o caminho a seguir.

No caso do Estudo 3, em particular, ele se diferenciou dos demais quanto à conectividade da área de uso comum e da área de serviço. Não houve, para essa edificação, a predominância de eixos bem conectados em áreas sociais e a falta dessa alta conectividade em áreas de serviço. Nela, os ambientes encontram-se distribuídos de maneira mais homogênea quanto às possibilidades de caminhos e à acessibilidade em cada pavimento. Nesse estudo igualmente se observou a predominância de integração máxima e média nos ambientes, ou seja, a disposição deles em planta favorece a integração no sistema. A configuração espacial dessa edificação é a mais vantajosa quando comparada às dos estudos anteriores.

Tanto em trechos (ou ambientes) bem conectados como nos bem integrados, existe a tendência de mais pessoas se deslocarem para eles. Com isso, aumenta a probabilidade de haver aglomerações no momento do escape onde todos os ocupantes do edifício se direcionam ao mesmo tempo para as saídas. No DEPTHMAP, foi possível identificar esses eixos de acessibilidade, revelados pelas estruturas de cada edifício. Tais eixos correspondem às escadas e aos corredores principais. Juntamente aos resultados obtidos por meio do PATHFINDER foi possível ver a aglomeração nesses ambientes, existindo, portanto, uma confluência nos resultados dos dois *softwares*.

B) Devido aos ambientes com maior integração tenderem a ter o maior potencial de movimento, destaca-se aqui a importância deles no momento de evacuação do prédio. Seu

dimensionamento deve estar correto para que o tempo de escape de toda a população seja o mais curto possível.

No entanto, essa tendência de maior movimentação dos ambientes também depende do uso e do número de usuários, não somente do seu nível de integração. Como exemplo, tem-se os térreos dos estudos 1 e 2, que não apresentam os eixos mais integrados do sistema, mas sim elementos de atração para um grande número de pedestres em circulação. Esse fato mostra o quanto a ASE pode auxiliar na concepção de um projeto arquitetônico, prevendo a relação dos usuários com cada espaço e as consequências que essa relação pode vir a causar em uma situação de fuga, por exemplo. Ainda testifica, mais uma vez, a influência do número máximo de ocupantes – considerado de maneira indireta, pelos códigos prescritivos, no dimensionamento das saídas de emergência – e a sua importância em uma edificação.

C) Quanto ao cálculo da inteligibilidade do sistema predial, verificou-se que se cada sistema for analisado por inteiro, ele será considerado como de baixa inteligibilidade aos usuários. Os casos estudados são de sistemas que apresentam poucas linhas globais, ou seja, poucos e grandes eixos de circulação que funcionam como as artérias principais de movimento. Sendo assim, menor é a probabilidade de serem inteligíveis, pois a relação global-local é comprometida tendo em vista a dificuldade em se apreender o sistema em sua inteireza (MEDEIROS, 2006, p. 353). Porém, se cada andar for analisado em separado, a inteligibilidade aumenta, uma vez que os sistemas são menores e a linha global se destacaria, mostrando uma boa articulação entre as partes e o todo. É aumentado o senso de orientação das pessoas ali presentes.

Nos estudos 1 e 2 verificou-se que o terceiro andar é o de menor inteligibilidade, contudo, na sua configuração espacial são necessárias poucas mudanças de direção para um transeunte localizado em um dos trechos mais segregados alcançar o eixo de maior integração e maior conexão, ou seja, o corredor principal que direciona os transeuntes às saídas de emergência, no caso, as escadas. Então, para uma configuração espacial ser adequada à movimentação das pessoas, especialmente em caso de incêndio, não depende somente do quanto é inteligível, mas também de outros fatores em conjunto como as mudanças de direção necessárias às saídas de emergência, por exemplo.

Também no estudo 3, constatou-se uma configuração espacial favorável em relação às medidas até aqui comentadas. Apesar do primeiro pavimento ser o menos inteligível, percebe-se a predominância de eixos bem integrados e pouco conectados, o que é favorável em uma situação de escape, na qual quanto menos possibilidades de caminhos a serem escolhidos, melhor para uma fuga em direção a um local seguro.

D) Quanto à última simulação realizada no Cenário 1, o cálculo da profundidade dos ambientes em relação às saídas para o exterior da edificação, pode-se dizer que a quantidade de ocupantes do último andar, o mais profundo entre os demais, é inferior aos outros. Isto é, a configuração espacial da edificação apresenta os maiores níveis de profundidade na melhor localização possível, uma vez que o ideal, em termos de distribuição populacional em um edifício, é de que a menor quantidade de ocupantes possível permaneça nos ambientes mais profundos em relação aos locais seguros.

Outro aspecto positivo para os três prédios estudados é o fato de que mesmo os ambientes mais profundos em relação aos blocos de escada em cada andar, têm sua profundidade diminuída quando calculada em relação aos corredores principais, os quais, favoravelmente, estão conectados às escadas. Isto revela um aspecto positivo das configurações espaciais das edificações.

E) Os cenários do tipo 2 foram realizados apenas para os dois primeiros edifícios avaliados e a observação aqui feita é em relação ao resultado encontrado no Estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias), cujo número de mudanças de direção permaneceu o mesmo com a desativação de uma das escadas, ao invés de ter aumentado como no Estudo 1 (Prédio da EC&T). Isto demonstra que o prédio das Novas Engenharias poderia ter apenas duas escadas, pois, em termos de acessibilidade topológica, o efeito de duas ou três escadas é praticamente o mesmo.

F) Os cenários do tipo 3 foram aqueles que apresentaram melhores resultados. A presença de escadas enclausuradas nas edificações tornou o sistema mais raso de acordo com a ASE. Em outras palavras, tornou as saídas de emergência – no caso os blocos de escadas – mais acessíveis aos usuários, pois o número de mudanças de direção necessárias para se alcançar as escadas foi reduzido. Ao final das simulações aqui realizadas, pensa-se que duas mudanças é o ideal em uma situação de fuga, uma vez que não há dúvida da direção que se deve seguir, não há mais de dois caminhos a serem escolhidos e por isso menor a probabilidade de um ocupante escolher um caminho errado e se perder na edificação.

Porém, apesar da quantidade de dois níveis de profundidade para se alcançar a área externa em uma situação de incêndio ser a melhor, isso provavelmente não vai acontecer em nenhuma edificação de vários pavimentos e muito compartimentada. O que de fato se deve atentar é para que, no andar térreo, haja o mínimo possível de mudanças de direção até as saídas para o exterior da edificação e que, nos demais andares, a quantidade mínima de mudanças de direção seja em relação às escadas, conforme apresentado no cenário 3 de cada estudo.

Uma observação feita durante a realização do presente trabalho a respeito das escadas enclausuradas, ou protegidas, é a de que uma pessoa estando em um dos andares superiores pode estar protegida em uma dessas escadas. Todavia, após sair do bloco de escada e não abandonar imediatamente a edificação, a eficácia da segurança dada pela escada protegida é diminuída uma vez que o transeunte deve ainda se locomover pelo pavimento térreo para acessar uma das portas que leva ao exterior do edifício. As mudanças de direção contabilizadas nos cenários de tipo 3, para condizerem com a realidade, necessitariam ainda de serem somadas às mudanças de direção no andar térreo.

Esta mesma observação foi apontada nas considerações a respeito dos resultados no PATHFINDER. E, como comentado anteriormente, o termo “local seguro”, utilizado pela NBR 9077:2001, em seu tópico 4.5.2, parece equivocado, uma vez que, estando nessas escadas, as pessoas ainda não poderiam se considerar em segurança. Diferente da primeira norma, A IT 11, por sua vez, cita as escadas protegidas ao falar sobre as distâncias máximas a serem percorridas, mas as associa a um local de “relativa segurança” e não a um realmente seguro. O termo na NBR 9077 poderia ser modificado, para que não cause dúvidas no que diz respeito à segurança dos usuários.

Cabe aqui acrescentar uma breve comparação entre as duas regulamentações. Ao manuseá-las, e a partir dos resultados adquiridos pelas simulações, foi possível constatar diferenças entre ambas. A NBR 9077:2001 foi dita como a mais utilizada pelos projetistas – conforme pesquisa de SILVA (2015) – porém, nela foram encontradas inconsistências, como a citada no parágrafo acima e como outras relatadas no corpo do trabalho. Contudo, diferente da NBR, a IT é atualizada, corrigida e adequada com mais frequência. Acredita-se que isso a favorece, e a torna uma ferramenta mais segura em ser utilizada. Uma vez que sua atualização demora para acontecer, a NBR passa a carregar em si recomendações que,

muitas vezes, podem ser superdimensionadas, como a necessidade de uma área de refúgio, por exemplo, conforme comentários nos próximos parágrafos, que podem vir a onerar a obra sem uma real necessidade.

G) Os últimos comentários aqui proferidos são a respeito do cenário 4. De acordo com os resultados encontrados pela ASE com o DEPTHMAP, o acréscimo de uma saída pela cobertura tornou o local seguro mais acessível aos usuários, pois diminui a quantidade de mudanças de direção necessárias aos usuários de alguns ambientes, especialmente os localizados nos últimos andares. Porém, quando esses resultados são analisados em conjunto com aqueles provenientes do PATHFINDER, outras considerações podem ser estabelecidas: Em termos da distância topológica, a existência de uma saída pela cobertura diminuiu a quantidade de mudanças de direção para se alcançar um local seguro, porém, em termos do tempo de escape, essa saída pouco influenciou.

Ao simular a adaptação dos projetos ao que pede a norma NBR 9077 com uma saída alternativa pela cobertura como uma área de refúgio, o cenário 4 simulado pelo PATHFINDER obteve resultados que não foram o esperado, pois a diferença entre os tempos de escape total em comparação ao Cenário 1 foi pequena. Porém, os resultados encontrados pelo DEPTHMAP indicaram uma melhoria na acessibilidade a um local protegido. Contudo, constatou-se que:

- 1) A área serviria em prioridade para os ocupantes do terceiro andar, os quais causam pouco impacto na aglomeração formada nos demais andares e no tempo total de escape, pois as pessoas ali presentes, na ausência de outra alternativa de saída, precisam esperar que a aglomeração se desfaça para que possam seguir caminho até o térreo
- 2) A instalação dessa área é uma hipótese delicada, no sentido de que envolve um bom planejamento de compartimentação e paredes corta-fogo, como pedem as normas; sinalização para o deslocamento horizontal e vertical das pessoas no último andar; a presença de uma brigada de incêndio e pessoas capacitadas para auxiliar o escape ou treinamento da população ocupante;
- 3) Uma área a mais na edificação significa maior custo com a obra. O ideal é implementá-la caso sua presença faça uma real diferença na segurança dos usuários em uma situação de emergência.

Diante da possibilidade de se instalar ou não uma saída a mais pela cobertura, cabe o julgamento do projetista para o que de fato seja necessário à edificação. A respeito dos prédios aqui estudados, concluiu-se que uma saída pela cobertura não seria uma vantagem, contradizendo o que se previu no início do desenvolvimento da pesquisa.

Contudo, pode-se dizer que as considerações aqui apresentadas, no geral, apontam que as configurações espaciais dos edifícios estudados se apresentam aptas à SCI. Elas são favoráveis ao escape, mostrando que, para essas edificações, as regulamentações podem ser eficazes mesmo sem conter indicações específicas a respeito dos posicionamentos das rotas de fuga e saídas de emergência.

A partir dos resultados de cada propriedade da ASE analisada (conectividade, integração, inteligibilidade, visibilidade e profundidade), junto às informações da simulação de movimento, verificou-se que o problema do elevado tempo de escape não diz respeito à configuração espacial, mas ao grande número de usuários na edificação e/ou ao dimensionamento das escadas.

6.3. INTERAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE SAÍDA DE EMERGÊNCIA E RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Neste tópico, é feita uma interação entre os parâmetros de saída de emergência e os resultados das simulações computacionais. Esses parâmetros foram citados no capítulo introdutório do presente trabalho; são aqueles que mais interessam ao estudo para serem avaliados por estarem relacionados ao principal assunto da pesquisa: as saídas de emergência.

A interação é apresentada no Quadro 6.3, o qual contém: os parâmetros; o que as normas especificam em relação a eles; as conclusões a respeito dos resultados adquiridos por meio das simulações para cada um dos edifícios estudados (Estudo 1: Prédio da EC&T; Estudo 2: Novas Engenharias; Estudo 3: Escola de Enfermagem); a qualificação dos resultados, se foram favoráveis ou desfavoráveis; e, por fim, o *software* que obteve esses resultados.

Parâmetro	O que diz as Normas	Resultados / Conclusões	Qualificação	Software
Distância máxima a ser percorrida até um local seguro	NBR 90 77: 45m até local seguro e IT 11: 65m até uma escada	Estudos 1, 2 e 3: <ul style="list-style-type: none"> Os prédios precisam seguir o que pede a NBR 9077 em relação as escadas enclausuradas para ficar conforme às distâncias máximas sugeridas; ou rever o termo “local seguro”; assim, o tempo total de escape será diminuído. As normas devem também levar em consideração a distância para a pessoa se deslocar pelo pavimento térreo após sair da escada protegida. Não basta contabilizar uma distância segura até uma das escadas enclausuradas. 	Desfavorável	PATHFINDER
Quantidade e dimensões das saídas de emergência	Três escadas e sete saídas para o meio externo dimensionadas conforme às normas (em função da altura, das dimensões em planta e das características construtivas da edificação)	Estudos 1, 2 e 3: O número de ocupantes é levado em consideração apenas por meio das áreas dos ambientes (dimensões em planta); com isso, a quantidade de pessoas em cada pavimento não acarretou resultados favoráveis, pois verificou-se demasiada aglomeração nas circulações e escadas	Desfavorável	PATHFINDER
		Estudos 1, 2 e 3: Resultados positivos em relação às distâncias topológicas e configuração espacial da edificação	Favorável	DEPTHMAP
Posição das escadas	Referência apenas em termos de distâncias máximas a serem percorridas ou de distâncias entre duas escadas	Estudos 1, 2 e 3: <ul style="list-style-type: none"> Apesar do total de mudanças de direção necessárias para se alcançar um local seguro ter sido alto na maioria dos cenários, muitos ambientes são contemplados com até três mudanças. Pode-se dizer é um resultado positivo contando com a familiaridade que grande parte das pessoas envolvidas possuem em relação às edificações Constatação da importância dos eixos com maior potencial de movimento estarem conectados com os locais de escape (escadas ou portas ao exterior) Configurações espaciais favoráveis à acessibilidade 	Favorável	DEPTHMAP

		<ul style="list-style-type: none"> • Mesmo não fazendo referência direta ao posicionamento das escadas, as Normas mostraram-se eficazes. 		
		Estudo 2: Percebeu-se que os eixos traçados mostram a possibilidade de um transeunte se locomover para corredores encurralados.	Desfavorável	
Tempo total de fuga para um usuário na edificação	Não trazem nada a respeito	Comparado com o tempo da NBS, a situação mais favorável foi com as escadas enclausuradas indicadas pela NBR 9077	Favorável	PATHFINDER
Aspectos de movimento do ocupante	Não trazem nada a respeito	Verificou-se a tendência de movimento pelos eixos de maior integração, pelos eixos que passam por ambientes com maior número de ocupantes e pelos eixos mais conectados. Neles, verificou-se a tendência de aglomeração de pessoas	Desfavorável	DEPTHMAP e PATHFINDER

Quadro 6.3: Interação entre parâmetros e resultados das simulações computacionais

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

As simulações mostraram resultados favoráveis e desfavoráveis quanto ao que diz as regulamentações de SCI a respeito dos aspectos relacionados às saídas de emergência. Dos pontos que as regulamentações já apresentam – distância máxima a ser percorrida até um local seguro; quantidade e dimensões das saídas de emergência; e posição das escadas – todos apresentaram pontos favoráveis e desfavoráveis. Dos outros dois, apenas o tempo total de fuga para um usuário na edificação apresentou resultados favoráveis quando relacionado à normalização, mesmo que essa não contemple detalhamentos a seu respeito.

Com essa análise é possível constatar a necessidade de aprimoramento nos parâmetros já abordados nas prescrições normativas, uma vez que para garantir a segurança dos usuários de uma edificação, em tudo devem ser favoráveis.

Quanto ao tempo total de fuga para um usuário na edificação e aos aspectos de movimento do ocupante, não abordados pelos códigos prescritivos, verificou-se situações favoráveis e desfavoráveis para os prédios em questão. A presença de escadas enclausuradas recomendadas para esses tipos de edificações pela NBR 9077:2001 diminuiu o tempo de alcance a um local seguro (ponto favorável). Contudo, as distâncias máximas a serem percorridas devem ser revistas, uma vez que mesmo estando em uma escada protegida, uma pessoa ainda

precisaria se locomover pelo andar térreo para escapar por completo da situação de perigo, ou seja, para estar em total segurança na área externa da edificação (ponto desfavorável).

A quantidade de pessoas permitidas nas edificações deve ser dimensionada em consonância com as medidas das rotas e saídas de emergência, para que não favoreça a aglomeração de pessoas nesses locais no momento da fuga.

Quanto ao posicionamento das escadas, mesmo não sendo abordado de maneira mais ampla pelas regulamentações, foi favorável o posicionamento das saídas de emergência que permitem ao usuário um alcance rápido. Mesmo que em muitos dos ambientes nos edifícios em questão fossem necessárias três mudanças de direção para se alcançar um local considerado seguro, menos mudanças seriam necessárias para alcançar as áreas mais integradas – como os corredores principais de cada andar, por exemplo – que levam o usuário com maior facilidade a uma das saídas. Porém, no caso do estudo 2 (Prédio das Novas Engenharias), isso foi verificado apenas em termos de acessibilidade topológica, pois, quanto a solução projetual adotada para a edificação, ela não é interessante, visto que com o posicionamento das escadas foram criados corredores encurralados. A crítica é feita à normalização, que permite tal solução ao não tratar mais detalhadamente a respeito do assunto.

6.4. INTERAÇÃO DOS RESULTADOS COM A QUESTÃO DE PESQUISA

Com o intuito de responder à questão problema da pesquisa: “se existem divergências e confluências entre as soluções propostas pelos códigos prescritivos sobre evacuação de emergência utilizados no Rio Grande do Norte e os resultados obtidos por meio de simulações computacionais”, elaborou-se um quadro com o que foi obtido para os estudos por meio do emprego dos *softwares* (Quadro 6.4).

As divergência e confluências detectadas foram apenas em relação aos parâmetros já abordados pelas regulamentações. Os demais itens de importância para as saídas de emergência que não são contemplados, não fizeram parte dessa interação de resultados.

Software	Divergências	Confluências
PATHFINDER	<p>1. Quanto à quantidade de ocupantes permitida por norma (com base na área) para o dimensionamento das saídas de emergência (pois causou aglomeração e aumento do tempo total de escape)</p> <p>2. Quanto à distância máxima percorrida até um local seguro (escada enclausurada), uma vez que a distância percorrida no andar térreo para que se alcance a área externa da edificação também deve ser contabilizada.</p> <p>3. Quanto a necessidade de uma área de refúgio (como pede a NBR 9077:2001)</p>	Necessidade de escadas enclausuradas (NBR 9077) para melhoria no tempo total de escape a um “local seguro” ¹
DEPTHMAP	Por não ser detalhado o posicionamento das escadas, é permitida pela NBR 9077:2001 a criação de corredores encurralados, permitindo a locomoção de transeuntes para locais sem saída no momento do escape.	O posicionamento das saídas de emergência (portas e escadas) se mostrou acessível nas configurações espaciais das edificações, mesmo não tendo sido detalhado pelas prescrições normativas
1 - O termo “local seguro” encontra-se entre aspas devido aos comentários já proferidos nos tópicos anteriores a respeito dessa nomenclatura na NBR 9077:2001		

Quadro 6.4: Divergências e confluências entre simulações e normas

Fonte: Elaborado pela autora, 2015

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo 6 apresentou considerações a respeito dos resultados das simulações em relação aos objetivos principais, aos parâmetros de dimensionamento de saídas de emergência e à questão de pesquisa, e culminou numa discussão final do presente trabalho. As conclusões, agora proferidas, conduzem o desfecho para a linha de raciocínio iniciada anteriormente.

A escolha em relacionar resultados de simulações computacionais com recomendações propostas por regulamentações de segurança contra incêndio se mostrou desafiadora durante todo o desenvolvimento do presente trabalho. A utilização de dois *softwares* com naturezas distintas que apresentaram resultados diversos foi a principal dificuldade nessa pesquisa, decorrente da necessidade de confluir os resultados de ambos com as normas.

Contudo, acredita-se que a pesquisa atingiu seu propósito. As análises realizadas contribuíram para que se verificasse o desempenho das três edificações universitárias frente ao cumprimento, ou não, das prescrições normativas para saídas de emergência, e que, dessa forma, pudessem ser evidenciadas as fragilidades e pontos eficazes de seus parâmetros. Constatou-se a importância de recomendações que ainda não são contempladas nessas prescrições, e, com todos esses dados obtidos, foram gerados subsídios para discuti-los junto às soluções projetuais de cada edificação.

No Brasil, a aplicação isolada de prescrições normativas, com o intuito de adequar um projeto arquitetônico à SCI, é mais corriqueira do que o uso simultâneo das mesmas com programas computacionais para verificação da eficácia dos parâmetros em projetos e outras soluções necessárias que não são contempladas pelas regulamentações. Esta prática continuará presente nos próximos anos, o que mostra a necessidade dos códigos prescritivos em serem revistos e atualizados com frequência.

Assim vale para os aspectos relacionados às saídas de emergência – foco principal da pesquisa – que ainda não são contemplados, ou são de maneira superficial, pelas regulamentações de SCI vigentes. Entre eles estão o tempo total de fuga e a velocidade de um usuário em situação de emergência. Ambos, variáveis importantes a serem consideradas para análise do desempenho das edificações adaptadas às prescrições normativas. Por não serem disponibilizados valores a partir de dados brasileiros, deve-se recorrer aos

internacionais. Com isso, indica-se a necessidade de que pesquisas no tema sejam realizadas e divulgadas para consulta pública.

No desenvolvimento do presente trabalho, foi constatada a relevância do uso dos programas computacionais escolhidos. O PATHFINDER trabalhou, sobretudo, com a verificação do tempo total de fuga, e o DEPTHMAP, a partir da Análise Sintática do Espaço, com as variáveis configuracionais a respeito do espaço construído. Principalmente por tratarem e simularem aspectos não contemplado pelas prescrições normativas, essas ferramentas podem ser evidenciadas como auxílio na constatação do desempenho das saídas de emergência frente à segurança dos usuários.

O primeiro, de fácil interface e obtenção de resultados para simulações que objetivam avaliar a movimentação de usuários em edificações, o tempo de escape e pontos de aglomeração, é uma ferramenta que, facilmente, pode ser incorporada a escritórios ou na aprendizagem de estudantes de arquitetura. As análises provenientes do segundo, responderam a questões relacionadas a como a configuração espacial de um edifício afeta a facilidade que uma pessoa tem de alcançar determinados lugares. Mostrou como o movimento se relaciona com a configuração, confirmando sua importância na avaliação e concepção de projetos de SCI.

Contudo, o uso de ambos não se limita aos procedimentos aqui realizados. O trabalho findou servindo como demonstração de parte da utilidade de cada um deles para o estudo da SCI nos projetos arquitetônicos. Mas não só isso. Acredita-se que a presente pesquisa foi o início de uma sequência de estudos que podem, posteriormente, ser desencadeados, seja para continuar a verificar a validação do proposto por prescrições normativas, a avaliar o tempo de fuga, o movimento de pessoas em edificações em caso de incêndio, o posicionamento das saídas de emergência, ou a verificar a utilidade dos programas computacionais.

Por fim, concluiu-se que a NBR 9077:2001 e a IT 11:2014, ao mesmo tempo que eficazes, apresentam lacunas que de alguma forma podem prejudicar a evacuação segura dos ocupantes das edificações, e que, uma vez identificadas, devem ser sanadas. Mas, para que se tenha um maior número de dados que possam comprovar essas afirmações e apontar com maior segurança os problemas, supõe-se que outras simulações, em um maior número de edificações, devem ser consideradas e realizadas em pesquisas futuras. Cabe que haja um

aprofundamento do assunto e das análises, para que se obtenha maior amostragem e uma base de estudo do tema cada vez mais sólida.

Simultaneamente, aprofundamentos quanto ao conhecimento e divulgação do uso das normas baseadas em desempenho no Brasil podem ser realizados, a fim de que a segurança dos usuários seja fator primordial no processo de concepção projetual. Independente do auxílio que os projetistas possam vir a ter – seja por normas prescritivas ou normas de desempenho, com ou sem auxílios de *softwares* computacionais – as soluções mais coerentes possíveis devem ser buscadas e aplicadas.

REFERÊNCIAS

ABOLINS, H. A.; BIANCHINI, F. J.; NOMELLINI, L. H. Saídas de Emergência em Edificações. In: SEITO et. Al (org.). **A Segurança contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008, p.101-121.

ALVES, Alessandra B. C. G.; CAMPOS, André T.; BRAGA, George C. B. Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura. In SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, 8, São Paulo, 2008. **Anais eletrônicos...**, São Paulo: USP, 2008, p.1-8. Disponível em: <<http://www.usp.br/nutau/CD/71%20196.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2013.

ANDRADE, D. **A segurança contra incêndio em uma abordagem para edificações históricas: Proposta de reuso para o antigo Grupo Escolar Augusto Severo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2014.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos** - Desempenho - Parte 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 13532: **Elaboração de projetos de edificações: arquitetura** Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. NBR 9077: **Saídas de emergência em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

BERTO, A. F. **Medidas de proteção contra incêndio**: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios. 1991. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BRENTANO, T. **A Proteção Contra Incêndio no Projeto de Edificações**. Porto Alegre: Telmo Brentano, 2 ed. 2010.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **PD 7974-Part 6:** Application of fire safety engineering principles to the design of buildings- Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behavior and condition (Sub-system 6). London: BSI, 2004.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013/Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CAMPOS, A. T. e BRAGA, G. C. B. **Simulação Computacional Aplicada à Prevenção de Incêndios.** [Brasília: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal], 2011. Disponível em: <<http://bombeirofreitas.files.wordpress.com/2011/03/artigo-simulac3a7c3a3o-computacional-aplicada-c3a0-prevenc3a7c3a3o-de-incc3aandio-andrc3a9-telles-11c2b0-senabom.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2013.

CARMO, C. L.; RAIA JR., A. A.; NOGUEIRA, A. D. A Teoria da Sintaxe Espacial e suas aplicações na Área de Circulação e Transportes. In CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 5. Brasília, 2012. **Anais eletrônicos...** Brasília: UnB, 2012, p. 1-12. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2012-1/724-teoria-da-sintaxe-espacial-e-suas-aplicacoes-circulacao-e-transportes-pluris-2012/file>>. Acesso em: 03 mar. 2015

CAPPUCIO, J. Pathfinder: a computer-based timed egress simulation. **Fire protection engineering**, n.8, p.11-24, 2000. Disponível em: <<http://www.frocc.org/pdf/regulation/fireprotectionengineering.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2014

CHOI, Y.K. **The Spatial Structure of Exploration and Encounter in Museum Layouts.** 1991. PhD Thesis (Doctorate in FIELD) – Georgia Institute of Technology Atlanta, 1991.

_____. The morphology of exploration and encounter in museum layouts. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 26, p. 241 - 250, 1999.

CLARET, A. M.; ETRUSCO, P. **Tempo de escape em edificações:** os desafios do modelamento de incêndios no Brasil. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, n.55(4), out. / dez. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v55n4/v55n4a05.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2014

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica 11/14** – Saídas de Emergência. São Paulo: [s. n.] 2014.

DURSUN, P. Space syntax in architectural design. In INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 6. Istanbul, 2007. **Electronics Proceedings....** Istanbul: ITU 2007, p.1-12. Available at: < <http://www.spacesyntaxistanbul.itu.edu.tr/papers/longpapers/056%20-%20Dursun.pdf>>. Acess: 25 oct. 2014.

ESTEVEZ, Juliana C. **Planejamento e gestão do ambiente construído em universidades públicas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos. UFSCar - São Carlos-SP. 2013. 159 p.

EVANS, J. D. **Straightforward statistics for the behavioral sciences**. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing, 1996.

FAILLACE. A. R. **Escada e saídas de emergência**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1991.

FIGUEIREDO, L., **Linhas de Continuidade no Sistema Axial**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2004. Mimeo.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILL, A.; OLIVEIRA, S.; NEGRISOLO, W. Aprendendo com os grandes incêndios. In: SEITO, A.I.; GILL, A.A.; SILVA, S. B.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; CARLO, U.; SILVA, V.P. (eds.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008, p. 19-33.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Norte. **Código de Segurança e Prevenção contra Incêndio e Pânico do Estado do Rio Grande do Norte**. Natal: [Imprensa Oficial], 1979.

HAQ, S. Can space syntax predict environmental cognition? In SPACE SYNTAX INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2, Brasília, 1999. **Electronic Proceedings...** Brasília: UnB, 1999, p. 40.1-40.14. Available at: <<http://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS2/SpSx%202nd%20Symposium%2099%202003%20pdf/2nd%20Symposium%20Vol%202%20pdf/44%20Haq%20300.pdf>>. Acess: 23 sep. 2015

HAQ, S. **Complex Architectural Settings**: Na Investigation of Spatial and Cognitive Variables through Way finding Behavior. 2001. Unpublished Doctoral Dissertation (Doctorate in FIELD), Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2001

HAQ, S.; ZIMRING, C. Just down the road a piece – the development of topological knowledge of building layouts. **Environment and Behavior**, v. 35, v. 1, p. 132-160, 2003.

HILLIER, B. **Space is the machine**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

_____. **Space is the machine**: configurational theory of architecture. London: UCL, 2007

_____. The architecture of the urban object. **Ekistics**, n.56 (334/33), p. 5-21, 1989.

HILLIER, B; BURDETT,R.; PEPONIS,J.; PENN,A. Creating life: Or, does architecture determine anything? **Architecture and Behavior/Architecture et Comportment**, n.3, p. 233-250, 1987.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The Social Logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HILLIER, B; HANSON, J; GRAHAM, H. Ideas are in Things: An Application of the Space Syntax Method to Discovering House Genotypes. **Environ Plann B Plann Des**, v.4, n.4, p.363-385, 1987.

HILLIER, B., PENN, A., HANSON, J., and XU, J. Natural movement: Or configuration and attraction in urban pedestrian movement. **Environ Plann B Plann Des**, v.20, n.1, p. 29-66, 1993.

HILLIER, B; HANSON, J. **The reasoning art**: or, the need for an analytical theory of architecture. In: 1st INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 1997, Londres - Inglaterra. Proceedings... Londres: Space Syntax Laboratory / The Bartlett School of Graduate Studies / University College London, 1997. v. 1, p. 01.1-01.05. Disponível em: <<http://www.spacesyntax.net/symposia/1st-international-space-syntax-symposium/>>. Acesso em: 23 mar. 2016

HOLANDA, F. (org.). **Arquitetura & Urbanidade**. São Paulo: ProEditores Associados Ltda. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados amostrais e estimativas populacionais das medianas de altura e peso da população, por sexo, segundo a idade e os grupos de idade** - Rio Grande do Norte - período 2008-2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_enc_aa/tabelas_pdf/tab3_11.pdf>. Acesso em: 11 mar.2015.

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. Available at: <<http://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/114/dissertation.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acess: 13 aug. 2015

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

LATAILLE, J. **Fire Protection Engineering in Building Design**. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2003.

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

MEDEIROS, V. **Sintaxe do Espaço**: Módulo B – Depthmap® Avançado. Material de aula ministrada em Seminário para a Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: UFRN, 2013b.

_____. **Urbis Brasiliae**: O Labirinto das Cidades Brasileiras. Brasília: Universidade de Brasília, 2013a.

MEDEIROS, V.; TRIGUEIRO, E.; BARROS, A. P. O poder do espaço: procedimentos para interpretar o espaço físico na Câmara dos Deputados (população, cadastramento imobiliário e ocupação). In: BARROS, A.; PERLIN, G. (org.). **Olhares sobre o Parlamento**: incursões acadêmicas no território político. Brasília: Câmara dos Deputados, 2011, p.25-68. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/5926?show=full>>. Acesso em: DATA.

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, n. 2, p. 31-45, abr./jun. 2009. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7381>> Acesso em: 03 mar. 2015.

MUNIZ, R. M. D. **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 (Mestrado em Engenharia Ambiental) – 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 ed., London: Department of Communities and Local Government, 2006.

NEGRISOLO, W. **Arquitetando a segurança contra incêndio**. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

OLENICK, S.M.; CARPENTER, D.J. An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 13, n. 2, p. 870-110, 2003.

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 (Livre Docência) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

_____. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, jan. / mar. 2007.

ONO, R.; VALENTIN, M.; VENEZIA, A. Arquitetura e Urbanismo. In: SEITO, A.I.; GILL, A.A.; SILVA, S. B.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; CARLO, U.; SILVA, V.P. (ed.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008, p. 123-134.

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. In: SBQP TIC 2013 III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E IV ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2013, Campinas. **Anais III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído e IV Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção**. Campinas: ANTAC, 2013. v. 1. p. 1676-1688.

PATHFINDER, Users Guide for. Thunderhead Engineering, 2014.

PEPONIS, J.; HADJINIKOLAOU, E., LIVIERATOS, C. & FATOUROS, D.A. The Spatial Core of Urban Culture. **Ekistics**, v. 334/335, p. 43-55, 1989.

PEPONIS, J; ROSS, C; RASHID, M. The structure of urban space, movement and co-presence: The case of Atlanta, **Geoforum**, v.28, n.3, p. 341-358, 1997.

PEPONIS, J.; ZIMRING, C.; CHOI, Y.K. Finding the Building in wayfinding. **Environment & Behavior**, v.22, n.5, p. 555-590, 1990.

PINTO, E. M. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira**. 2001. Dissertação (Mestrado em CAMPO) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SALVADOR, E. V. **Percepção arquitetônica do espaço de trabalho pela comunidade universitária**, estudo de caso da UFSCar, Campus São Carlos. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 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. 2007. **Anais eletrônicos...**, Curitiba: CESEC, 2007. Disponível em: < <http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-15.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Instrução técnica N° 02** – Conceitos básicos de segurança contra incêndio. São Paulo: [s.n.], 2011.

_____. **Instrução técnica N° 09**: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo: [s.n.], 2011.

_____. **Instrução técnica N° 11** – Saídas de emergência. São Paulo: [s.n.], 2011.

SEITO, A.I.; GILL, A.A.; SILVA, S. B.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; CARLO, U.; SILVA, V.P. (ed.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008.

SILVA, V.P.; **Segurança contra incêndios em edificações** – Considerações para o projeto de arquitetura. São Paulo: Blucher, 2014.

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.

SILVA, E. C. M. **O projeto arquitetônico e a antecipação do projeto de segurança contra incêndio**: interferência mútua, interação necessária. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SOUZA, W. P. de. **Reação ao fogo dos materiais** – uma avaliação dos métodos de projeto de saídas de emergência em edificações não industriais. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

SPACE SYNTAX. Disponível em: <<http://www.spacesyntax.com>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

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

TURNER, A. **DEPTHMAP 4** — A researcher's handbook. Bartlett School of Graduate Studies, London: UCL, 2004.

VALENTIN, M. V. **Saídas de emergência em edifícios escolares**, 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de 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.

WAGNER, R. **Projeto para saídas de emergência**: o conceito de desempenho em Santa Catarina. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

WELL CONNECTED. **New Scientist**. Disponível em: <<https://www.newscientist.com/article/mg16422124.700-well-connected/>>. 1999. Acesso: em 25 fev. 2013.

ANEXOS

ANEXO A – Exemplos dos resultados gerados por uma simulação no PATHFINDER

```

***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***
Simulation:      MultiFloorStairwell
Mode:            SFPE (Basic)
Total occupants: 125
Exit Times (s):
  Min:           3.2
  Max:           176.7
  Average:       85.0
  StdDev:       53.7

[Components] All: 28
[Components] Doors: 14
Triangles:      66
Startup Time:   0.0s
CPU Time:       2.4s

```

ROOM/DOOR	FIRST IN (s)	LAST OUT (s)	TOTAL USE (pers)	FLOW AVG. (pers/s)
Room01	0.0	26.7	25	
Room02	0.6	176.7	125	
Door00	3.2	176.7	125	0.7
Door01	0.6	26.7	25	1.0
Stair01	3.6	171.3	100	
Stair01 door 1	10.3	171.3	100	0.6
Stair01 door 2	3.6	152.8	100	0.7
Room02	2.6	152.8	100	
Room01	0.0	28.7	25	
Door03	2.6	28.7	25	1.0
Stair02	2.8	127.5	75	
Stair02 door 1	9.6	127.5	75	0.6
Stair02 door 2	2.8	106.1	75	0.7
Room01	0.0	26.7	25	
Room02	0.6	106.1	75	
Door04	0.6	26.7	25	1.0
Stair03	3.6	84.8	50	
Stair03 door 1	10.3	84.8	50	0.7
Stair03 door 2	3.6	64.2	50	0.8
Room02	2.6	64.2	50	
Room01	0.0	28.7	25	
Stair04	2.8	36.3	25	
Stair04 door 1	9.6	36.3	25	0.9
Stair04 door 2	2.8	28.7	25	1.0
Door07	2.6	28.7	25	1.0
Room02	0.6	28.7	25	
Room01	0.0	26.7	25	
Door08	0.6	26.7	25	1.0

Figura A.1: Exemplo de um Resumo com resultados de uma simulação no PATHFINDER

Fonte: PATHFINDER, 2014

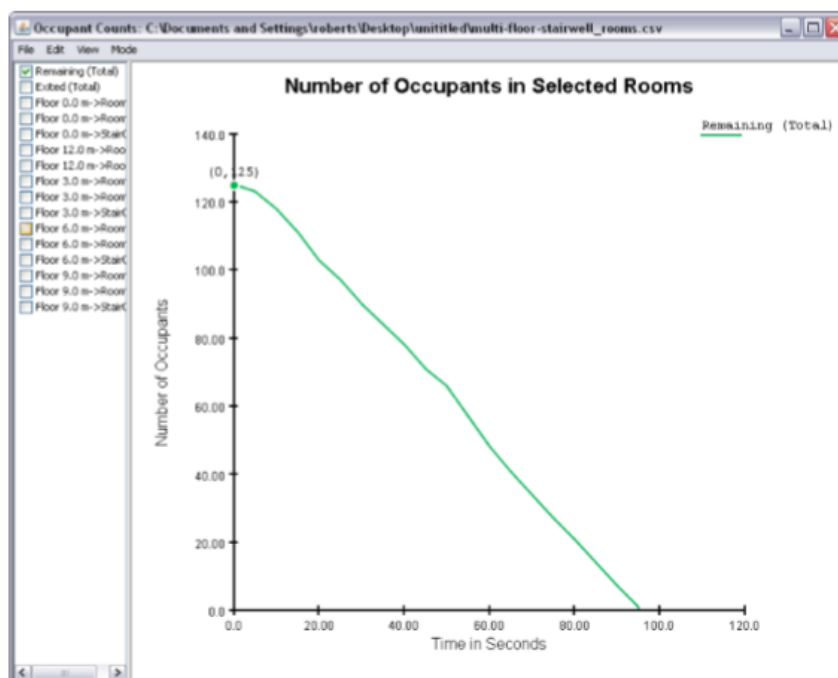


Figura A.2: Gráfico com Número de ocupantes x Tempo no PATHFINDER
Fonte: PATHFINDER, 2009 (in MUNIZ, 2013)

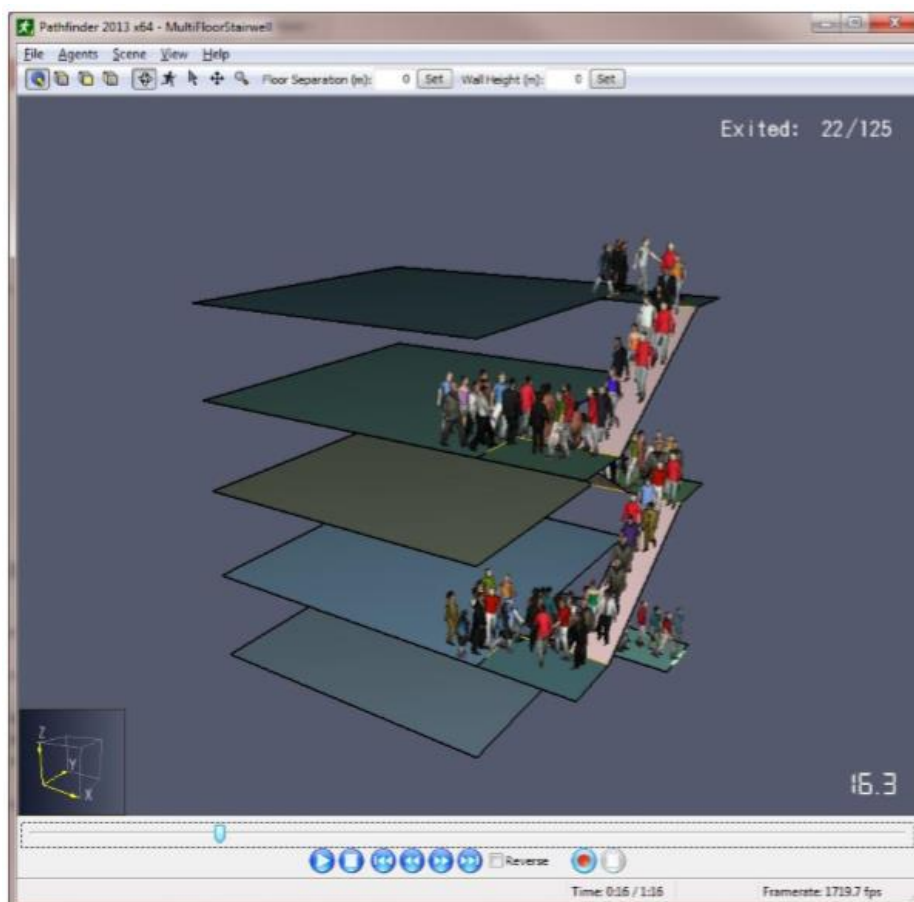


Figura A.3: Resultado 3D utilizando modelos humanos no PATHFINDER
Fonte: PATHFINDER, 2014