UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

MARCOS VARGAS VALENTIM

Comportamento de crianças em movimento em escadas:
Subsídios para o dimensionamento dos meios de escape
em escolas

São Paulo – SP
2018

MARCOS VARGAS VALENTIM

COMPORTAMENTO DE CRIANÇAS EM MOVIMENTO EM ESCADAS:

SUBSÍDIOS PARA O DIMENSIONAMENTO DOS MEIOS DE ESCAPE EM ESCOLAS

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura

Linha de pesquisa: Processo de produção na arquitetura e urbanismo

Orientadora: Prof.^a Dra. Rosaria Ono

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB A RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DA ORIENTADORA.

A versão original, em formato digital, ficará arquivada na Biblioteca da Faculdade.

São Paulo, 21 de setembro de 2018.

São Paulo
2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

E-MAIL DO AUTOR: valentimarq@gmail.com

Catálogo na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Valentim, Marcos Vargas

Comportamento de crianças em movimento em escadas:
Subsídios para o dimensionamento dos meios de escape em
escolas / Marcos Vargas Valentim; orientador Rosaria Ono. -
São Paulo, 2018.
267 f.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
da Universidade de São Paulo. Área de concentração:
Tecnologia da Arquitetura.

1. Meio de Escape. 2. Saída de Emergência. 3. Segurança
Contra Incêndio. 4. Escolas (arquitetura). I. Ono, Rosaria,
orient. II. Título.

MARCOS VARGAS VALENTIM

Comportamento de crianças em movimento em escadas:

Subsídios para o dimensionamento dos meios de escape em escolas

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, nível doutorado, da Faculdade
de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São
Paulo, como requisito parcial à obtenção do título de
Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientadora: Prof.^a Dr^a Rosaria Ono

Aprovado em: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Foram muitos.

Inicialmente gostaria de agradecer a minha orientadora, Professora Dra. Rosaria Ono, por todo apoio, ensinamentos e oportunidades que me ofereceu durante esta longa trajetória.

Ao Dr. Fulvio Vittorino, pelas inúmeras horas que passamos juntos conversando e trabalhando na tese, inclusive nos finais de semana. Sua ajuda foi digna de amigo.

À Erika, minha esposa, pelo apoio e por ter contribuído demasiadamente na fase de coleta e tabulação dos dados e, por fim, pela leitura do trabalho.

À minha querida filha Sofia, pela assistência e carinho.

Aos meus pais e irmão pelo amor incondicional e por terem compreendido minha ausência durante a fase final da pesquisa.

Aos amigos do Grupo de Fomento em Segurança Contra Incêndio (GSI), em especial ao Walter Negrisoló e Alfonso Antonio Gill, que conheci no início do mestrado e que hoje são grandes amigos.

Aos que me ajudaram durante a fase de coleta e tabulação dos dados, Fabiana Tiemi Yamaguchi, Thais Lemes Nogueira, Rafaela Ayumi Masunaga e Ana Yihan Ron.

Aos diretores, funcionários e alunos das escolas que participaram da pesquisa, sem vocês essa tese não seria possível.

A FAPESP pelo auxílio financeiro.

RESUMO

A norma brasileira que trata de Saídas de Emergência, a ABNT NBR 9077:2001, pressupõe que o perfil da população de alunos em edifícios escolares, do ensino fundamental à universidade, é homogêneo, e que, portanto, não há eventuais particularidades inerentes às diferentes faixas etárias no uso das saídas de emergência. Esta pesquisa partiu da hipótese de que o perfil da população e, em particular, o de crianças do ciclo básico do ensino fundamental, pode ser diferente do adulto e, por consequência, demandar um dimensionamento específico para as saídas de emergência. Assim, realizou-se a coleta e análise de dados relativos à velocidade de caminamento e aspectos comportamentais de crianças no movimento de descida de escadas, além de buscar correlações entre as velocidades e os dados antropométricos. Participaram da pesquisa 783 alunos do ciclo básico do ensino fundamental, oriundos de três escolas de ensino gratuito, com idade entre 6 e 10 anos. Foram testadas duas técnicas para a coleta dos dados: filmagens obtidas por meio de sistema fechado de televisão (CFTV) e sistema de identificação por rádio frequência (RFID), sendo que essa última não atendeu às expectativas e necessidades da pesquisa. As velocidades obtidas por processamento de dados de filmagens foram comparadas com as adotadas nos softwares de simulação de abandono "FDS+EVAC" e "Simulex". Constatou-se que, para os lances das escadas, as velocidades das crianças obtidas se assemelham as de referência de adultos (0,45 m/s até 1,05 m/s). Já para a velocidades obtidas nos patamares, houve grande dispersão, em relação aos valores de referência para adultos e crianças. Verificou-se, também, que o trajeto mais utilizado nos patamares foi o interno (mais curto) e que o emprego de métodos simplificados para estimar esses trajetos pode resultar em dados de velocidade imprecisos. Não foi constatada nenhuma correlação significativa entre as medidas antropométricas (IMC e bideltóide) e as velocidades dos alunos em lances ou patamares de escadas. Devido a dispersão dos resultados obtidos, não é possível a confirmação da hipótese inicial desta pesquisa.

Palavras-chave: meio de escape, saída de emergência, segurança contra incêndio, escola (arquitetura), escada, rota de fuga, velocidade de caminamento, criança.

ABSTRACT

In the Brazilian Technical Standard concerning means of egress (ABNT NBR 9077. 2001) it is presumed that the profile of students' population in educational buildings, from elementary school to college, is homogeneous. Therefore, it does not consider the eventual particularities intrinsic to specific age groups during the use of egress systems. Assuming that the profile of elementary school children may be different from adults', the criteria applicable to a variety of means of egress components could be more specific according to the occupant's characteristics. Thus, data regarding walking speeds and behavioral aspects of children in descending movement of stairs were collected and analyzed. Anthropometric data (weight, height and bicepoid measurement) from each child were also collected in order to seek correlations between these dimensions and the walking speeds. 783 elementary students from 3 different public schools, ages varying from 6 to 10 years old, participated in this research. Two techniques were tested for collecting data: recorded images from closed-circuit television (CCTV) and signals from radio-frequency identification (RFID); however, the last one was discarded due to technical difficulties. When compared to the speeds adopted by the egress simulation softwares "FDS+EVAC" and "Simulex", it was noticed that children's travel speeds in stairs are actually quite similar to the ones adopted for adults (0,45 m/s to 1,05 m/s), contrasting with the common sense that infants are slower than grown-ups. As for the walking speeds on landings, a wide dispersion in relation to parameters determined for adults and children was found. It was also noticed that most infants chose the shortest path (internal) on landings and that designation of a simplified average trajectory can lead to inaccurate travel speeds. Regarding the anthropometric measurements and walking speeds, no direct correlation was found. Due to the significant dispersion of the results, the initial hypothesis of this research could not be confirmed.

Keywords: Means of egress; emergency exits; fire safety; (architecture) schools; stairs; escape route; walking speed; children.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Velocidade de caminhada das pessoas em diferentes idades e sexo.	48
Figura 2: Variação do fluxo específico de evacuação em função da densidade de ocupação.	50
Figura 3: Variação da velocidade em função da densidade.....	50
Figura 4: Linha do tempo de um caso de incêndio.....	53
Figura 5: Criança caminhando	55
Figura 6: Ciclo completa da marcha.....	56
Figura 7: Fases e estágios do desenvolvimento motor	69
Figura 8: Vista da câmera mostrando um patamar típico	87
Figura 9: Visão geral da câmera e distância de caminhada calculada	90
Figura 10: Definição de distância de caminhada, altura e largura do degrau e ângulo da escada.....	92
Figura 11: Linha do tempo dos simulados de abandono analisados.....	93
Figura 12: identificação dos pontos de entrada e saída na escada.....	94
Figura 13: Comprimento para dois lances de escada estimado por Predtechenskii e Milinskii	95
Figura 14: Distância percorrida nas escadas	97
Figura 15: Distância percorrida nos patamares.....	98
Figura 16: Critério para coleta dos tempos no lance das escadas	101
Figura 17: Momento em que os tempos foram coletados	102
Figura 18: Vista a partir da câmera de CFTV das fitas adesivas.....	102
Figura 19: Exemplo de trajeto percorrido pelos alunos na escada.....	103

Figura 20: PC com sistema de CFTV acoplado em funcionamento	108
Figura 21: Câmera do CFTV instalada na Escola X.....	108
Figura 22: Cartaz informando aos pais e a comunidade sobre os simulados	109
Figura 23: Alunos da Escola X e Y participando do simulado	110
Figura 24: Percurso baseado no trabalho de Predtechenskii e Milinskii (1978)	112
Figura 25: Percurso baseado no trabalho de Templer (1992).....	112
Figura 26: Baseada no trabalho de Cuesta e Gwynne (2016)	112
Figura 27: Alunos descendo uma das escadas durante um simulado de abandono	113
Figura 28: Nova proposta de percurso no patamar	114
Figura 29: Vista aérea do Edifício A	119
Figura 30: Plantas do Edifício A	120
Figura 31: Plantas do Edifício B	122
Figura 32: Vista aérea do Edifício C.....	124
Figura 33: Plantas do Edifício C	125
Figura 34: Cabo UTP utilizado no sistema de CFTV e fonte para alimentação das câmeras	127
Figura 35: Câmera e DVR do sistema de CFTV	127
Figura 36: Posicionamento das câmeras de CFTV e das antenas de RFID – Escola A	128
Figura 37: Posicionamento das câmeras de CFTV - Escola B.....	129
Figura 38: Posicionamento das câmeras de CFTV - Escola C.....	129
Figura 39: Componentes do sistema RFID	130

Figura 40: Transponder, antena, leitor e computador para captura das informações	131
Figura 41: Antena com protetor (rampado), aluno com o transponder fixado no tênis	131
Figura 42: Filmadoras portáteis contíguas às escadas – Escolas A, B e C.....	132
Figura 43: Trajeto percorrido pelos alunos na escada - Escola A	133
Figura 44: Trajeto percorrido pelos alunos na escada - Escola B	134
Figura 45: Trajeto percorrido pelos alunos na escada - Escola C	134
Figura 46: Possibilidades de percursos no patamar da Escola B.....	136
Figura 47: Plano de Frankfurt (visão lateral)	139
Figura 48: Balança utilizada na Escola C	140
Figura 49: Equipe coletando o peso a a altura dos alunos.....	140
Figura 50: Antropômetro	141
Figura 51: Equipe coletando a medida bideltóide.....	141
Figura 52: Diferença entre os tempos registrados nas gravações	143
Figura 53 Diferença entre os tempos registrados nas gravações	144
Figura 54: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola A.....	150
Figura 55: Equações que descrevem os percursos III, IMI e IEI – Escola A	151
Figura 56: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar –.....	152
Figura 57: Equações que descrevem os percursos III, IMI e IEI – Escola B	153
Figura 58: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no	

patamar – Escola C	154
Figura 59: Equações que descrevem os percursos III, IMI e IEI – Escola C	155
Figura 60: Patamar – Escolas A, B e C	178
Figura 61: Patamares da escada da Escola C	185
Figura 62: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola A.....	210
Figura 63: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola A.....	211
Figura 64: Equações que descrevem os percursos MII / IIM, MMI / IMM e MEI / IEM – Escola A.....	212
Figura 65: Equações que descrevem os percursos EII / MIM / IIE, EMI / MMM / IME e EEI / MEM / IEE – Escola A.....	212
Figura 66: Equações que descrevem os percursos EIM / MIE, EMM / MME e EEM / MEE – Escola A.....	213
Figura 67: Equações que descrevem os percursos EIE, EME e EEE – Escola A...213	
Figura 68: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B.....	214
Figura 69: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B.....	215
Figura 70: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B.....	216
Figura 71: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B.....	217
Figura 72: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B.....	218

Figura 73: Equações que descrevem os percursos MII / IIM, MMI / IMM e MEI / IEM – Escola B.....	219
Figura 74: Equações que descrevem os percursos EII / MIM / IIE, EMI / MMM / IME e EEI / MEM / IEE – Escola B	220
Figura 75: Equações que descrevem os percursos EIM / MIE, EMM / MME e EEM / MEE – Escola B	221
Figura 76: Equações que descrevem os percursos EIE, EME e EEE – Escola B...	222
Figura 77: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C	223
Figura 78: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C	224
Figura 79: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C	225
Figura 80: Equações que descrevem os percursos IIM / MII, IMM / MMI e IEM / MEI – Escola C	226
Figura 81: Equações que descrevem os percursos IIE / EII, IME / EMI e IEE / EEI – Escola C	227
Figura 82: Equações que descrevem os percursos MIM, MMM e MEM – Escola C	228
Figura 83: Equações que descrevem os percursos MIE / EIM, MME / EMM e MEE / EEM – Escola C.....	229
Figura 84: Equações que descrevem os percursos EIE, EME e EEE – Escola C...	230

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Óbitos de menores de 15 anos por acidentes provocados por queimadura - Brasil, 2007. (Nº e taxa por 100.000 hab.).....	33
Tabela 2: Velocidades e fluxos médios adotados no Japão.....	49
Tabela 3: Velocidades de movimento do ocupante em escadas.....	52
Tabela 4: Velocidades observadas	61
Tabela 5: Velocidade em superfície horizontal.....	62
Tabela 6: Velocidade ascendente e descendente em escadas.....	63
Tabela 7: Características do desenvolvimento das crianças.....	68
Tabela 8: População de crianças com até 14 anos.....	70
Tabela 9: Número de matrículas na educação básica por dependência administrativa – Brasil - 2013.....	72
Tabela 10: Número de matrículas na educação básica por modalidade e etapa de ensino – Brasil – 2013.	72
Tabela 11: Crianças mortas e feridas em incêndio no ano de 2010 nos EUA	74
Tabela 12: Características gerais dos modelos de abandono.....	81
Tabela 13: Informações básicas relativa aos simulados	96
Tabela 14: Características do Escola X	105
Tabela 15: Características do Escola Y	106
Tabela 16: Distância de caminhada no patamar (m).....	114
Tabela 17: Características do Edifício A	121
Tabela 18: Características do Edifício B	123
Tabela 19: Quantidades de câmeras instaladas	127

Tabela 20: Diferença entre os tempos de cada uma das câmeras	144
Tabela 21: Quantidade de alunos, tempos e trechos coletados.....	145
Tabela 22: Quantidade de trechos descartados.....	146
Tabela 23: Quantidade de trechos válidos	146
Tabela 24: Tempos obtidos com os sistemas de CFTV e RFID.....	148
Tabela 25: Percursos nos lances (m) – Escola A e B	148
Tabela 26: Percursos nos lances (m) – Escola C.....	148
Tabela 27: Dados de velocidade média nos lances por turma – Escola A, B e C ...	161
Tabela 28: Frequência de ocorrência para as velocidades nos lances acima de 0,84 m/s	167
Tabela 29: Dados de velocidades médias nos patamares por ano – Escola A, B e C	174
Tabela 30: Valores mínimos e máximos adotados pelos softwares (m/s).....	179
Tabela 31: Frequência de ocorrência para as velocidades nos patamares acima de 1,20 m/s	179
Tabela 32: Dados estatísticos relativos aos lances – Escola A.....	231
Tabela 33: Dados estatísticos relativos aos lances – Escola B.....	231
Tabela 34: Dados estatísticos relativos aos lances – Escola C.....	232
Tabela 35: Dados estatísticos relativos aos patamares – Escola A	232
Tabela 36: Dados estatísticos relativos aos patamares – Escola B	233
Tabela 37: Dados estatísticos relativos aos patamares – Escola C	233

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Representação gráfica das expressões de velocidade de caminhada horizontal	51
Gráfico 2: Quantidade de pessoas que evacuaram os edifícios x tempo total necessário para a evacuação ser completada.....	64
Gráfico 3: Número de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas	70
Gráfico 4: Percentual de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas, por grupo de idade	71
Gráfico 5: Resultado das rotas de escape desenhadas pelos alunos da 6ª série.	75
Gráfico 6: Modelos utilizados pelos participantes.....	85
Gráfico 7: Distancia de caminhada dos alunos do 4º ano	115
Gráfico 8: Distancia de caminhada dos alunos do 6º ano	115
Gráfico 9: Distancia de caminhada dos alunos do 8º ano	116
Gráfico 10: Intervalo de confiança para a distância da velocidade média	116
Gráfico 11: Intervalo de confiança para a velocidade média	117
Gráfico 12: Frequência de ocorrência do trajeto percorrido nos lances	157
Gráfico 13: Frequência de ocorrência de velocidades para os alunos dos 1ºs anos	158
Gráfico 14: Frequência de ocorrência para os alunos dos 2ºs anos	158
Gráfico 15: Frequencia de ocorrência para os alunos dos 3ºs anos	159
Gráfico 16: Frequencia de ocorrência para os alunos dos 4ºs anos	160
Gráfico 17: Frequência de ocorrência para os alunos dos 5ºs anos	160
Gráfico 18: Boxplot demonstrando as velocidades nos lances – Escola A	163

Gráfico 19: Boxplot demonstrando a velocidades nos lances – Escola B	163
Gráfico 20: Boxplot demonstrando a velocidades nos lances – Escola C	164
Gráfico 21: Velocidades médias, com intervalos de confiança de 95% de probabilidade para os lances	164
Gráfico 22: Frequência acumulada para as velocidades nos lances - Escola A	168
Gráfico 23: Frequência acumulada para as velocidades nos lances - Escola B	168
Gráfico 24: Frequência acumulada para as velocidades nos lances - Escola C	169
Gráfico 25: Frequência de ocorrência para os alunos do 1º ano.....	170
Gráfico 26: Frequência de ocorrência para os alunos do 2º ano.....	171
Gráfico 27: Frequência de ocorrência para os alunos do 3º ano.....	172
Gráfico 28: Frequência de ocorrência para os alunos do 4º ano.....	172
Gráfico 29: Frequência de ocorrência para os alunos do 5º ano.....	173
Gráfico 30: Boxplot demonstrando as velocidades nos patamares – Escola A.....	175
Gráfico 31: Boxplot demonstrando as velocidades nos patamares – Escola B.....	176
Gráfico 32: Boxplot demonstrando as velocidades nos patamares – Escola C	176
Gráfico 33: Velocidades médias, com intervalos de confiança de 95% de probabilidade para os patamares	177
Gráfico 34: Frequência acumulada para velocidades nos patamares – Escola A...	180
Gráfico 35: Frequência acumulada para velocidades nos patamares – Escola B...	180
Gráfico 36: Frequência acumulada para velocidades nos patamares – Escola C...	181
Gráfico 37: Trajetos que ocorreram com maior frequência nos patamares.....	182
Gráfico 38: Quatro principais trajetos observados nos patamares	183

Gráfico 39: Não uso dos corrimãos nos lances de escadas para as três escolas...	184
Gráfico 40: Relação entre a velocidade média (m/s) e o IMC - 4º ano da Escola A	186
Gráfico 41: Relação entre a velocidade média (m/s) e o IMC - 2º ano da Escola A	187
Gráfico 42: Trajeto percorrido nos patamares – Todas os anos – Escola A	234
Gráfico 43: Trajeto percorrido nos patamares – 2º ano – Escola A.....	235
Gráfico 44: Trajeto percorrido nos patamares – 3º ano – Escola A.....	236
Gráfico 45: Trajeto percorrido nos patamares – 4º ano – Escola A.....	236
Gráfico 46: Trajeto percorrido nos patamares – 5º ano – Escola A.....	237
Gráfico 47: Trajeto percorrido nos patamares – Todos os anos – Escola B	238
Gráfico 48: Trajeto percorrido nos patamares – 1º ano – Escola B.....	238
Gráfico 49: Trajeto percorrido nos patamares – 2º ano – Escola B.....	239
Gráfico 50: Trajeto percorrido nos patamares – 3º ano – Escola B.....	239
Gráfico 51: Trajeto percorrido nos patamares – 4º ano – Escola B.....	240
Gráfico 52: Trajeto percorrido nos patamares – 5º ano – Escola B.....	240
Gráfico 53: Trajeto percorrido nos patamares – Todos os anos – Escola C	241
Gráfico 54: Trajeto percorrido nos patamares – 1º ano – Escola C	241
Gráfico 55: Trajeto percorrido nos patamares – 2º ano – Escola C	242
Gráfico 56: Trajeto percorrido nos patamares – 3º ano – Escola C	242
Gráfico 57: Trajeto percorrido nos patamares – 4º ano – Escola C	243
Gráfico 58: Trajeto percorrido nos patamares – 5º ano – Escola C	243
Gráfico 59: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano A -Escola A ...	244

Gráfico 60: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano B – Escola A ..	244
Gráfico 61: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano A – Escola A ..	245
Gráfico 62: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano B – Escola A ..	245
Gráfico 63: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano A – Escola A ..	245
Gráfico 64: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano B – Escola A ..	246
Gráfico 65: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano A – Escola A ..	246
Gráfico 66: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano B – Escola A ..	246
Gráfico 67: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano A – Escola A ..	247
Gráfico 68: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano B – Escola A ..	247
Gráfico 69: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano A – Escola B ..	248
Gráfico 70: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano A – Escola B ..	248
Gráfico 71: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano B – Escola B ..	249
Gráfico 72: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano A – Escola B ..	249
Gráfico 73: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano B – Escola B ..	249
Gráfico 74: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano A – Escola B ..	250
Gráfico 75: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano B – Escola B ..	250
Gráfico 76: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano A – Escola B ..	250
Gráfico 77: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano B – Escola B ..	251
Gráfico: 78 Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano A – Escola C ..	252
Gráfico 79: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano B – Escola C ..	252
Gráfico 80: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano A – Escola C ..	253

Gráfico 81: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano B – Escola C	253
Gráfico 82: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano A – Escola C	253
Gráfico 83: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano B – Escola C	254
Gráfico 84: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano A – Escola C	254
Gráfico 85: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano B – Escola C	254
Gráfico 86: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano A – Escola C	255
Gráfico 87: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano B – Escola C	255
Gráfico 88: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 1º ano A – Escola A	256
Gráfico 89: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 1º ano B – Escola A	256
Gráfico 90: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 2º ano A – Escola A	257
Gráfico 91: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 2º ano B – Escola A	257
Gráfico 92: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 3º ano A – Escola A	257
Gráfico 93: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 3º ano B – Escola A	258
Gráfico 94: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 4º ano A – Escola A	258
Gráfico 95: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 4º ano B – Escola A	258
Gráfico 96: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 5º ano A – Escola A	259
Gráfico 97: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 5º ano B – Escola A	259
Gráfico 98: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 1º ano A – Escola B	260
Gráfico 99: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 1º ano B – Escola B	260
Gráfico 100: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 2º ano B – Escola B	...261
Gráfico 101: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano A – Escola B	...261

Gráfico 102: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano B – Escola B ...	261
Gráfico 103: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano A – Escola B ...	262
Gráfico 104: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano B – Escola B ...	262
Gráfico 105: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano A – Escola B ...	262
Gráfico 106: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano B – Escola B ...	263
Gráfico 107: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 1º ano A – Escola C ...	264
Gráfico 108: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 1º ano B – Escola C ...	264
Gráfico 109: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 2º ano A – Escola C ...	265
Gráfico 110: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 2º ano B – Escola C ...	265
Gráfico 111: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano A – Escola C ...	265
Gráfico 112: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano B – Escola C ...	266
Gráfico 113: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano A – Escola C ...	266
Gráfico 114: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano B – Escola C ...	266
Gráfico 115: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano A – Escola C ...	267
Gráfico 116: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano B – Escola C ...	267

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados de velocidades de crianças pesquisadas por diversos autores.....	57
Quadro 2: Literatura disponível sobre segurança contra incêndios e crianças antes de 2009.....	58
Quadro -3: Literatura disponível sobre segurança contra incêndios e crianças entre 2009 e 2017	59
Quadro 4: Cinco perspectivas sobre o crescimento humano	67
Quadro 5: Legenda da Tabela 12.....	82
Quadro 6: Principais características dos modelos de abandono.....	83
Quadro 7: Quantidade de câmeras instaladas nas Escolas X e Y	108
Quadro 8: Datas dos simulados de abandono de incêndio realizados nas Escolas X e Y.	110
Quadro 9: Possibilidades de percursos no patamar	136

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	26
1 INTRODUÇÃO.....	26
1.1 Objeto	29
1.2 Objetivos.....	30
1.3 Hipótese.....	31
1.4 Justificativa	31
1.5 Métodos e técnicas	34
1.5.1 Atividades desenvolvidas.....	35
1.5.1.1 Revisão Bibliográfica.....	36
1.5.1.2 Planejamento das atividades de campo	37
1.5.1.3 Pesquisa de campo – pré-teste.....	37
1.5.1.4 Pesquisa de campo final	37
1.5.1.5 Tabulação e análise dos dados.....	38
1.6 Conselho de ética	38
1.7 Estrutura da tese.....	38
CAPÍTULO 2	40
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	40
2.1 Comportamento humano em incêndio	40
2.2 Movimento de pessoas em situação de incêndio	45
2.2.1 Estudos consagrados na literatura acerca do movimento das pessoas	46
2.2.2 Estudos sobre o movimento de populações vulneráveis.....	54
2.2.2.1 Estudos sobre o movimento de crianças.....	54
2.2.2.2 Estudos sobre o movimento de pessoas com deficiência	61
2.3 Crianças e segurança contra incêndio	65
2.3.1 O que é ser criança?	65
2.3.2 Crianças no Brasil.....	69
2.3.3 Crianças e o fogo.....	73
2.4 Projeto baseado em desempenho e modelos matemáticos para simulação de abandono.....	76
2.4.1 Projeto baseado em desempenho	77
2.4.2 Modelos computacionais para simulação de evacuação.....	78
2.5 Métodos de coleta de dados de velocidade em escadas	86
2.6 National Institute of Standards And Technology – NIST	86
2.6.1 Gravações e dados dos ocupantes.....	87

2.6.2	Dados da geometria das escadas.....	89
2.6.3	Cronometragem do movimento das pessoas.....	90
2.6.4	Tempo de caminhada	90
2.6.5	Velocidade de caminhada.....	91
2.7	Universidade Técnica da Dinamarca.....	91
2.8	University Of Maryland - Departamento de Engenharia de Proteção Contra Incêndios	92
2.8.1	Gravações e dados dos ocupantes.....	93
2.8.2	Dados da geometria das escadas.....	94
2.9	Cuesta e Gwynne	95
2.9.1	Gravações e dados dos ocupantes.....	96
2.9.2	Velocidade de caminhada.....	97
CAPÍTULO 3		99
3	PROCEDIMENTOS PARA PESQUISA DE CAMPO.....	99
3.1	Planejamento das atividades de campo e método para coleta de dados	99
3.1.1	Seleção dos edifícios.....	100
3.1.2	Contato com a direção das escolas	100
3.1.3	Elaboração dos procedimentos para coleta de dados;.....	100
3.1.3.1	Método para coleta dos tempos e comportamentos nos lances das escadas	100
3.1.3.2	Método para coleta dos percursos nos patamares.....	103
3.1.4	Obtenção de plantas dos edifícios e análise dos pontos para instalação dos equipamentos.....	103
CAPÍTULO 4		104
4	PESQUISA DE CAMPO	104
4.1	Apresentação da pesquisa nas escolas selecionadas – pré-teste.....	104
4.2	Características arquitetônicas das Escolas X e Y	104
4.2.1	Escola X	104
4.2.2	Escola Y	105
4.3	Pré-teste	107
4.3.1	Sistema de CFTV	107
4.3.2	Instalação dos equipamentos	107
4.3.3	Orientações sobre os simulados de abandono para direção das escolas, professores e alunos	108
4.3.4	Aplicação do Pré-teste;.....	109

4.3.5	Resultados da análise comparativa entre os métodos de cálculo para o percurso no patamar descritos no capítulo e a nova proposta	111
4.4	Pesquisa de campo final	118
4.4.1	Seleção dos três edifícios	118
4.4.1.1	Edifício A.....	118
4.4.1.2	Edifício B.....	121
4.4.1.3	Edifício C	123
4.4.2	Apresentação da pesquisa para os funcionários das escolas, professores e alunos.....	126
4.4.3	Seleção, instalação e teste dos sistemas de CFTV e RFID	126
4.4.3.1	Sistema de CFTV	126
4.4.3.2	Sistema <i>Radio Frequency Identification (RFID)</i>	130
4.4.4	Definição dos critérios para a coleta dos tempos dos alunos e dos percursos percorridos.....	132
4.4.4.1	Lances de escadas	132
4.4.4.2	Patamares das escadas.....	135
4.4.1	Definição dos critérios para a coleta dos trajetos percorridos nos lances e uso dos corrimãos	137
4.4.2	Coleta dos dados antropométricos	137
4.4.2.1	Altura	138
4.4.2.2	Peso corporal.....	139
4.4.2.3	Medida bideltóide.....	141
CAPÍTULO 5	.....	142
5	TABULAÇÃO DOS DADOS.....	142
5.1	Programa utilizado para análise dos vídeos e correção dos tempos	142
5.2	Tabulação dos dados.....	144
5.2.1	Dados coletados com o auxílio das câmeras do sistema de CFTV.....	144
5.2.2	Dados coletados com RFID	147
5.3	Cálculo para percurso nos lances	148
5.4	Equações de percurso nos patamares.....	149
5.4.1.1	Escada da Escola A.....	150
5.4.1.2	Escada da Escola B.....	152
5.4.1.3	Escada da Escola C.....	154
CAPÍTULO 6	.....	156
6	RESULTADOS	156

6.1	Velocidade de caminhamento	156
6.1.1	Velocidade de caminhamento nos lances	157
6.1.2	Conclusões sobre velocidades de caminhamento nos lances	165
6.2	Velocidade em patamares	170
6.2.1	Conclusões das velocidades de caminhamento nos patamares	178
6.3	Trajetos percorridos nos patamares	181
6.4	Uso dos corrimãos	184
6.5	Relação entre velocidades nos lances e medidas antropométrica	186
CAPÍTULO 7	.....	188
7	CONCLUSÕES.....	188
BIBLIOGRAFIA	.....	193
APÊNDICE A	.....	205
	Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa	205
APÊNDICE B	.....	208
	TCLE para os pais e responsáveis	208
	TALE para os participantes da pesquisa (TALE)	209
APÊNDICE C	.....	210
	Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar e equações de percurso nos patamares.....	210
APÊNDICE D	.....	231
	Parâmetros estatísticos relativos às velocidades para as Escolas A, B e C.	231
APÊNDICE E	.....	234
	Gráficos com a frequência de trajeto percorrido, agrupado por anopara cada escola.....	234
APÊNDICE F	.....	244
	Relação entre velocidade média (m/s) nos lances e IMC - Gráficos.....	244
APÊNDICE G	.....	256
	Relação entre medida bideltóide e velocidade média (m/s) nos lances - Gráficos..	256

1 INTRODUÇÃO

O incêndio é um fato indesejado e inesperado que põe em risco a vida humana e os bens materiais de uma sociedade. Eliminar todos os riscos seria condição ideal, porém, existem variáveis condicionadas por fatores imponderáveis que impedem que uma ação global, a fim de eliminar todos os riscos, seja viável. Assim, normalmente, o poder público e a sociedade determinam o nível de risco aceitável e as medidas necessárias para obtê-lo.

No Brasil, a segurança contra incêndio é garantida pelo atendimento a requisitos prescritivos contidos nas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e regulamentações. Tais requisitos estabelecem valores e critérios, frequentemente definidos empiricamente, que nem sempre possuem fundamentação teórica ou admitem uma inovação tecnológica, ou seja, são “engessados”, não permitindo soluções alternativas de projetos. São as denominadas regulamentações e normas prescritivas.

A partir do início dos anos de 1970, com o desenvolvimento da engenharia de segurança contra incêndio, tem-se percebido um crescente interesse pelos projetos baseados em desempenho (PBD) principalmente nos países desenvolvidos. Segundo Beck (1997), as principais razões para a adoção do PBD, são: promover inovações, melhorar a relação custo/benefício dos sistemas e estimular o comércio internacional.

No projeto de segurança contra incêndios com base em desempenho, uma das ferramentas utilizadas para aferir os meios de escape, a fim de avaliar o tempo necessário para que as pessoas possam abandonar o edifício, antes que as condições ambientais se tornem críticas, são os modelos matemáticos de abandono.

Embora existam dezenas de modelos que simulam o abandono de pessoas em edificações, os dados relativos ao comportamento das pessoas são limitados para dar suporte aos modeladores e, também, para validar os modelos para simulação de emergências reais (KULIGOWSKI; PEACOCK e HOSKINS, 2010). Neste campo,

dados relativos às crianças são ainda mais escassos.

Ainda segundo os autores citados, a coleta e análise de dados básicos de evacuação de edifícios podem fornecer uma base para elaboração de códigos de obras e normas, no que diz respeito aos meios de escape, além de garantir a robustez do sistema para análise de problemas emergentes.

Ainda com relação às normas e regulamentações prescritivas, seu desenvolvimento, no mundo tem sido geralmente motivado por perdas trágicas. Nos Estados Unidos, no final do século XIX, com a mudança de uma sociedade agrária para uma industrializada, novas ocupações surgiram e os riscos aumentaram, tendo como consequência grandes incêndios.

As perdas patrimoniais causadas pelo incêndio em escala urbana ocorrido na cidade de Boston, em 1872, nos Estados Unidos culminaram na falência de mais de setenta seguradoras, levando à formação do *National Board of Fire Underwriters (NBFU)* e ao estabelecimento de regras de segurança destinadas a reduzir as perdas causadas por este tipo de sinistro. E é diante destes acontecimentos que em 1905 surge o primeiro modelo de código de obras norte-americano denominado *National Building Code (NBC)* (BUKOWSKI, 2009).

Em São Paulo não foi diferente. Somente diante dos incêndios que abalaram o país, ocorridos no início dos anos de 1970, como o do Edifício Andraus, em 1972, e do Edifício Joelma, em 1974, que deixaram um saldo de 16 e 179 mortos, respectivamente, somado à pressão popular para melhoria das exigências relativas à segurança contra incêndios, que em 1975 é sancionado pelo prefeito da cidade de São Paulo o Código de Edificações do Município de São Paulo, como Lei Municipal Nº 8.266. Trata-se do primeiro código de edificação brasileiro com exigências abrangentes relacionadas à segurança contra incêndios (VALENTIN, 2008).

Desde então, mesmo que de forma lenta, as regulamentações foram se aperfeiçoando, podendo se citar as de São Paulo (1975); São Paulo (1983); São Paulo (1992); São Paulo (1993); São Paulo (2001); São Paulo (2011), São Paulo (2017a),

São Paulo (2017b) São Paulo (2017c). No Município de São Paulo, após o Código de Obras de 1975, somente em 1992 entra em vigor o Código de Obras que permaneceu vigente até o ano de 2017. Este era complementado por exigências da regulamentação estadual do corpo de bombeiros, porém, com diferentes critérios no que se referia ao dimensionamento de saídas de emergência, causando estranheza aos projetistas.

Contudo, um novo Código de Obras foi aprovado em 2017, que remete as exigências relativas à Segurança Contra Incêndios (SCI) integralmente para a regulamentação estadual e as normas técnicas da ABNT.

Apesar de a “segurança contra incêndio” ser uma área de atuação profissional e pesquisa específica reconhecidas nos países desenvolvidos, denominadas “*fire safety engineering*” e “*fire safety science*”, respectivamente, as pesquisas, regulamentações e normas técnicas nessa área, no Brasil, ainda são incipientes, assim como não há formação profissional específica para a área.

Segundo Ono (2010), a primeira norma brasileira da ABNT sobre saídas de emergência foi aprovada e publicada em 1974 como Norma Brasileira (NB) 208, intitulada “Saídas de emergência em edifícios altos” e tinha como objetivo estabelecer as condições mínimas a serem obedecidas para edifícios altos, para permitir que sua população pudesse abandoná-los, em caso de incêndio. Em 1985, esta norma recebeu a numeração e o título vigente até hoje, ou seja, NBR 9077 – “Saídas de emergência em edifícios” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), estendendo seu escopo para a maioria das edificações e não mais somente para edifícios altos. A norma atualmente em vigor foi aprovada e publicada em 1993 e possui uma emenda de 2001.

As normas técnicas e regulamentações avançam na medida que os desafios surgem, tais como a introdução de novos materiais, o desenvolvimento de novas tecnologias de equipamentos, além das ocorrências de incêndios inusitados ou de grandes proporções. Para dar suporte a essas mudanças, além da base empírica, há a necessidade de pesquisas.

Os estudos consagrados na literatura relativos às velocidades e fluxos de pessoas utilizados para fundamentar modelos de simulação de abandono, tais como Predtechsnkii e Milinskii (1978) e Fruin (1987), somente consideraram dados relativos à população adulta sadia. Conforme já discutido por alguns autores, os dados relativos às crianças (LÁRUSDÓTTIR, 2013), (KHOLSHCHEVNIKOV et al., 2012a) e outros grupos que podem requerer assistência, como as pessoas com deficiência, (ANDRÉE et al., 2015), e idosos (SEKIZAWA, 2004), são ainda pouco considerados quando se elaboram normas e regulamentações. Sendo assim, diferentes níveis de segurança podem estar sendo oferecidos para as pessoas denominadas vulneráveis, ou seja: crianças, pessoas com deficiência, idosos etc, quando o parâmetro utilizado é o adulto sadio.

De acordo com o Censo demográfico de 2010 (IBGE, 2011), no Brasil existem 45.932.294 crianças com até 14 anos de idade e 14.081.477 pessoas com mais de 65 anos de idade. Já a Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com deficiência (BRASIL, 2012), indica que existem 32.609.022 brasileiros, com idade entre 15 e 65 anos com algum tipo de deficiência. Portanto, ao se tratar de populações vulneráveis, considera-se um contingente de 92.622.793 brasileiros, ou seja, 48,55% da população total. Além disso, há uma parcela da população que está temporariamente com dificuldade de locomoção (mobilidade reduzida) e que não está inserida nas estatísticas oficiais.

Diante do exposto, faz-se necessário o entendimento das características de toda essa população vulnerável, a fim de fornecer um nível de segurança igual para todos.

1.1 OBJETO

No trabalho aqui proposto, o objeto de pesquisa são as crianças matriculadas no Ensino Fundamental I (1º ao 5º ano e idade entre 6 e 10 anos), visto que a faixa de alunos mais velhos, do Ensino Fundamental 2 (6º ao 9º ano) e Ensino Médio, na maioria dos casos, possui a percepção mais desenvolvida, aproximando-se ao perfil do adulto, população amplamente pesquisada, no que se refere à sua condição física.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo tentar comprovar a tese de que a velocidade de caminamento de crianças ao descender escadas é menor que a velocidade de adultos. Para atingir esse objetivo, foram coletados e analisados os dados relativos à velocidade de caminamento de crianças descendo escadas, sem a influência de outros pedestres, além de aspectos comportamentais, tais como, uso dos corrimãos, percursos utilizados nos lances das escadas e patamares. Velocidades de crianças subindo escadas e em corredores não fazem parte dessa pesquisa.

Tanto os dados mencionados quanto a maneira de coletá-los ainda não estão totalmente equacionados ou padronizados entre os pesquisadores que já apresentaram alguns dados semelhantes. Dessa forma, são entendidos como desafios, as seguintes questões:

1. Coletar dados de forma mais precisa, diminuindo as incertezas causadas pelas distorções de imagens capturadas pelas câmeras de filmagens e leituras visuais de tempo;
2. Obter mais dados sobre a velocidade livre e o comportamento de crianças de diferentes faixas etárias, matriculadas em escolas de ensino fundamental I (1º ao 5º ano), com idades entre seis e dez anos;
3. Avaliar se há diferença de resultados por faixa etária, assim como por características físicas dos sujeitos (obtidas por meio de dados antropométricos coletados nas três escolas onde a pesquisa foi realizada);
4. Coletar dados relativos ao comportamento de crianças na faixa etária proposta.

Serão realizadas análises comparativas entre as velocidades obtidas nessa pesquisa com as utilizadas pelos softwares FDS + Evac (KORHONEN, 2018) e Simulex (IES, 2015).

Com esta pesquisa, pretende-se ampliar os conhecimentos acerca da população infantil e fornecer subsídios para o poder público quando da elaboração de regulamentos, para a sociedade, na elaboração de normas e manuais de abandono e

brigadas de incêndio e, ainda, para os desenvolvedores de softwares que simulam o comportamento e o movimento de pessoas durante o abandono de um edifício.

1.3 HIPÓTESE

A tese parte da hipótese de que a norma brasileira de saídas de emergência (ABNT NBR 9077) considera a população de diferentes categorias de "estabelecimentos de ensino" como sendo única, ou seja, de adultos com pleno vigor físico¹. Isto poderia implicar em um subdimensionamento das saídas de emergência para o caso específico de edificações escolares para o ensino fundamental, caso se conclua que as crianças são mais lentas que os adultos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Crianças são identificadas como pertencentes a um grupo de alto risco com relação ao incêndio, devido a suas habilidades limitadas para compreender os perigos intrínsecos do fogo ou de gerenciá-lo, caso esse saia do controle (SATYEN, BARNER e SOSA, 2004). São, ainda, tipicamente dependentes, física e psicologicamente, de outras pessoas, o que então as torna mais vulneráveis em situações de emergência, como nos incêndios.

Fisiologicamente, as crianças são mais suscetíveis a ferimentos sérios ou a morrer vítimas do incêndio. Sua pele é mais fina, se comparada a de adultos, podendo sofrer queimaduras profundas mais rapidamente. A exposição aos produtos tóxicos provenientes do incêndio é especialmente séria nas crianças. Nos EUA, 33% das crianças com idade inferior a 15 anos mortas em incêndios, foram vítimas de aspiração de fumaça e gases, enquanto que para idades acima de 15 anos, esta porcentagem cai para 26% (FEMA, 2004).

Sendo assim, escapar de um incêndio por si só pode ser difícil para uma criança.

¹ A norma ABNT NBR 9077 (Saídas de emergência em edifícios), considera para o dimensionamento das saídas de emergência, as mesmas exigências para escolas de ensino fundamental, médio e superior.

Segundo Fruin (1987), crianças são especialmente vítimas vulneráveis em acidentes porque existem lacunas na linguagem, percepção, compreensão visual e auditiva. Muitos aspectos da percepção humana, tais como a visão periférica, percepção de profundidade, o julgamento de velocidade e direção e reconhecimento de sons são alcançados através da experiência, ainda não adquirida pelas crianças.

As crianças frequentemente associam o fogo com celebração e festa, tais como assoprar a vela de aniversário, assistir à queima de fogos em comemorações etc. Portanto, se forem jovens demais, não serão capazes de compreender os perigos intrínsecos ao fogo fora de controle. Segundo Evarts (2011), uma média anual de 56.300 incêndios foram iniciados por crianças brincando com fogo nos Estados Unidos, levando a morte 110 pessoas, causando ferimento em 880 pessoas e gerando perdas materiais diretas à propriedade de aproximadamente 286 milhões de dólares entre 2005 e 2009.

Ainda nos Estados Unidos, de acordo com Campbell (2013), uma média de 5.690 incêndios ocorreram por ano em edifícios educacionais, entre 2007 e 2011. Estes incêndios causaram perdas anuais diretas à propriedade de 92 milhões de dólares, ferimento em 85 pessoas e uma vítima fatal.

Conforme os dados oficiais estatísticos de incêndio da Rússia, apresentados por Kholshchevnikov et al. (2012b), mais de 200.386 incêndios ocorreram em 2008, com o óbito de 15.165 pessoas, incluindo 584 crianças.

Infelizmente, no Brasil, não temos dados estatísticos com abrangência nacional sobre incêndios, número de feridos e mortos e nem a quantificação das perdas financeiras.

De acordo com dados contidos no relatório elaborado por Jorge e Koizumi (2010), no ano de 2007, das 63.616 mortes de crianças menores de 15 anos, por todas as causas, 6.900 aconteceram por causas externas. A classificação internacional de doenças (CID), que foi criada para padronizar e catalogar as doenças e problemas relacionados à saúde considera como causas externas de morbidade e mortalidade os seguintes eventos: traumatismos, envenenamento, exposição ao fogo e fumaça etc, intencionais ou acidentais. As mortes causadas por queimadura (acidentes

causados por fogo, chamas e assemelhados), acidentes causados por corrente elétrica dentre outros, totalizaram 337 no ano de 2007. A Tabela 1 apresenta as quantidades por faixas etárias.

Ainda segundo Jorge e Koizumi (2010), os acidentes provocados por queimaduras foram a terceira maior causa de mortes em crianças com menos de 15 anos nos estados de Rondônia, Acre, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia, Santa Catarina, Goiás e a segunda maior causa de morte no estado do Maranhão. Com relação aos tipos de acidentes que levaram crianças às internações hospitalares no Sistema Único de Saúde (SUS), no ano de 2007, os causados por queimaduras corresponderam a 15.392.

Tabela 1: Óbitos de menores de 15 anos por acidentes provocados por queimadura - Brasil, 2007. (Nº e taxa por 100.000 hab.)

Sexo/Idade (em anos)	Ano	
	Nº	Taxa
Masculino		
0 a 4	127	1,5
5 a 9	43	0,5
10 a 14	58	0,7
Total	228	09
Feminino		
0 a 4	68	0,8
5 a 9	25	0,3
10 a 14	16	0,2
Total	109	0,4
Ambos		
0 a 4	195	1,2
5 a 9	68	0,4
10 a 14	74	0,4
Total	337	0,7

Fonte: Jorge e Koizumi (2010, p. 68).

Embora estas mortes e internações causadas por queimaduras não estejam todas associadas à incêndios em edificações, que é nosso foco nesta pesquisa, entende-se que com o objetivo de mitigar o sofrimento dos enfermos e das famílias, programas de conscientização relacionados aos perigos do fogo deveriam ser implantados, a exemplo do que acontece em vários países.

Considerando a vulnerabilidade da população em questão e a pouca quantidade de

estudos que abordem a velocidade e o comportamento de crianças, torna-se necessário conhecer como esses se comportam, para que se possa oferecer as mesmas condições a todos, quando o abandono de um edifício for solicitado.

Templer (1994), Fujiyama e Tyler (2004), declaram que na área de fisiologia, vários estudos sobre velocidade em superfícies planas foram realizados em ambientes de laboratório. Mas raramente pesquisas sobre velocidade de caminhada em escadas foram realizadas nas mesmas condições.

Segundo Daamen e Hoogendoorn (2006) e Fujiyama e Tyler (2011), a velocidade livre, ou seja, sem a influência de outros pedestres, desempenha um papel importante em muitos modelos de fluxo de tráfego, mas também são relevantes em outras áreas, como por exemplo, quando do desenvolvimento de projetos onde há grande quantidade de pedestres e nos horários onde há maior concentração de pessoas em transportes públicos.

Diante desta lacuna existente entre os trabalhos relacionados aos aspectos comportamentais e cinemáticos de adultos em situação de incêndio e os de crianças, entende-se ser de extrema importância compreender como este último se comporta, caso contrário, parte significativa da população pode não estar recebendo a atenção necessária.

1.5 MÉTODOS E TÉCNICAS

Esta pesquisa, quanto à abordagem, pode ser classificada como quantitativa, pois de acordo com Polit et al. (2004 apud SILVEIRA; CORDOBA, 2009):

- *Focaliza uma quantidade pequena de conceitos;*
- *Inicia com ideias preconcebidas do modo pelo qual os conceitos estão relacionados;*
- *Utiliza procedimentos estruturados e instrumentos formais para coleta de dados;*
- *Coleta os dados mediante condições de controle;*

- *Enfatiza a objetividade, na coleta e análise dos dados;*
- *Analisa os dados numéricos através de procedimentos estatísticos.*

Quanto a natureza, trata-se de pesquisa aplicada, pois tem por objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais. Gerhardt et al. (2009),

Quanto ao objetivo/caráter, trata-se de pesquisa explicativa, pois segundo Gil (2007),

São aquelas pesquisas que têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Por isso mesmo é o tipo mais complexo e delicado, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente.

Dentre as várias técnicas ou instrumentos para coleta dos dados, nessa pesquisa adotou-se a denominada observação sistemática/não participante. De acordo com Gerhardt et al. (2009),

Esse tipo de observação é usada em pesquisas que requerem uma descrição mais detalhada e precisa dos fenômenos ou em testes de hipóteses. Na técnica de coleta de dados, presume-se que o pesquisador saiba exatamente que informações são relevantes para atingir os objetivos propostos. Nesse sentido, antes de executar a observação sistemática, há necessidade de se elaborar um plano para sua execução.

1.5.1 Atividades desenvolvidas

As principais atividades desenvolvidas durante essa pesquisa, desde a fase de revisão bibliográfica até a de coleta e tabulação dos dados, serão descritas na sequência.

1.5.1.1 Revisão Bibliográfica

Com o objetivo de compreender o estado da arte e a evolução histórica do tema a ser pesquisado, procedeu-se a revisão bibliográfica. As principais fontes de pesquisa relacionadas ao comportamento e velocidade de pessoas em situação de incêndio foram encontradas nos anais do congresso denominado *Human Behaviour in Fire*, promovido pela *Interscience Communications* e, também, nos trabalhos científicos publicados nos congressos promovidos pela *International Association for Fire Safety Science (IAFSS)*, assim como em artigos de periódicos internacionais.

Evidente que a revisão não se resumiu a esses trabalhos, mas considerando que ambos agregam pesquisadores ocupados com o tema, foi possível encontrar nesses e nas suas respectivas referências a maior parte do material estudado.

Com relação ao objeto desta pesquisa, ou seja, crianças, foi inicialmente necessário compreendê-lo e delimitá-lo. A primeira questão colocada foi: O que é ser criança? Com base nessa indagação procurou-se compreender tanto o ponto de vista legal quanto o desenvolvimento físico e comportamental. Com a definição do que é ser criança, foi possível quantificar esse universo.

Tendo-se em vista a estreita relação entre modelos computacionais para simulação de abandono e projetos baseados em desempenho (PBD), e considerando que um dos objetivos dessa pesquisa é fornecer subsídios de velocidade de crianças para os desenvolvedores de modelos, foi necessário compreender o conceito de PBD e as principais características dos modelos de abandono. A principal fonte de pesquisa foi o *National Institute for Standard and Technology (NIST)*. Felizmente o NIST disponibiliza uma enorme quantidade de trabalhos relacionados aos temas.

Para a coleta de dados relativos aos aspectos cinemáticos, comportamentais e antropométricos de crianças, foi necessário pesquisar os métodos utilizados por outros pesquisadores. Quanto aos dois primeiros, as fontes principais foram os anais dos congressos citados, nos materiais disponibilizados pelo NIST e em teses e dissertações produzidas no exterior, visto que não foi possível encontrar pesquisas relacionadas ao tema produzidas no Brasil. Para a coleta de dados antropométricos,

utilizou-se o manual de antropometria produzido pelo IBGE (BRASIL, 2013).

1.5.1.2 Planejamento das atividades de campo

Tendo-se por referência os métodos de coleta de dados de campo utilizados por outros pesquisadores e na experiência obtida com o trabalho desenvolvido por Ono (2011) foram realizados os pré-testes em duas escolas. Com base nos resultados e na experiência adquirida com a coleta de dados do pré-teste, fundamentou-se e aprimorou-se o procedimento para a coleta de dados final, em três escolas.

- a) Elaboração dos procedimentos para coleta de dados;
- b) Seleção dos edifícios escolares para a pesquisa;
- c) Contato com a direção das escolas para realização da pesquisa;
- d) Obtenção de plantas dos edifícios e análise dos pontos para instalação do circuito fechado de televisão (CFTV) e componentes para coleta de dados;
- e) Agendamento das datas para realização da coleta de dados.

1.5.1.3 Pesquisa de campo – pré-teste

- a) Apresentação da pesquisa nas escolas selecionadas;
- b) Instalação de equipamentos para o pré-teste;
- c) Orientação da direção das escolas, professores e alunos participantes sobre a pesquisa pré-teste e a atividade de coleta de dados;
- d) Aplicação do Pré-teste.

1.5.1.4 Pesquisa de campo final

- a) Seleção dos novos edifícios escolares;
- b) Orientação da direção das escolas, professores e alunos participantes

sobre a pesquisa e a atividade de coleta de dados;

- c) Seleção, instalação e teste dos equipamentos para a coleta dos dados;
- d) Realização da coleta dos dados de movimento descendente (tempo) das crianças;
- e) Realização da coleta dos dados antropométricos das crianças.

1.5.1.5 Tabulação e análise dos dados

Os dados individuais de tempos e percursos coletados por meio de captura de imagens de vídeo foram tabulados, por ano e por turma para cada uma das três escolas. Em seguida, esses dados foram tratados estatisticamente, inicialmente por estatística descritiva e, posteriormente, por estatística inferencial.

1.6 CONSELHO DE ÉTICA

O projeto de pesquisa foi submetido à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) do Ministério da Saúde por intermédio da Plataforma Brasil. O parecer favorável foi elaborado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (CEP-ESCH/USP) (Ver Apêndice A).

O CEP-ESCH/USP exigiu a apresentação de Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que foi prontamente apresentado (Ver Apêndice B).

1.7 ESTRUTURA DA TESE

Em uma primeira etapa, o capítulo 1 introduz e contextualiza o problema relacionado à vulnerabilidade das crianças em situação de incêndio, aponta a existência de uma lacuna nas pesquisas acerca deste perfil populacional e apresenta os objetivos e a hipótese desta tese. Em seguida, descreve, também, as atividades desenvolvidas no decorrer da elaboração dessa pesquisa.

No capítulo 2, denominado revisão bibliográfica, inicialmente foi realizada uma abordagem histórica dos estudos consagrados na literatura sobre o comportamento e movimento de pessoas em situação de incêndio. Na sequência, é apresentado o conceito de projeto baseado em desempenho (PBD) e as principais características dos modelos computacionais para evacuação. Por fim, são descritos os métodos utilizados por alguns pesquisadores para coletar a velocidade de pessoas em lances de escadas e patamares.

Em seguida, no capítulo 3, são descritos os procedimentos adotados para a realização da pesquisa de campo, desde o planejamento, passando pelos critérios para a seleção dos edifícios, contato com a direção das escolas, definição dos critérios para a coleta dos dados e finalizando com levantamento cadastral das escolas.

No capítulo 4 são apresentados os equipamentos utilizados e o critério adotado para informar os funcionários, alunos e seus respectivos responsáveis sobre a pesquisa. Ato contínuo, foram apresentados os resultados obtidos na fase de pré-teste, as características arquitetônicas das escolas selecionadas para a fase denominada pesquisa de campo final e o método utilizado para a coleta dos dados antropométricos dos alunos.

Em seguida, no capítulo 5, são descritos os critérios que foram utilizados para a tabulação dos dados, tais como os programas utilizados para realizar a leitura dos vídeos e para tabulação dos dados. Apresenta-se, ainda, as equações que foram desenvolvidas para representar o movimento dos alunos nos patamares das escadas.

No capítulo 6, são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a fase de coleta de dados e os resultantes da etapa de tratamento estatístico, além de suas representações gráficas e as respectivas análises.

E, por fim, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões e as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o comportamento das pessoas em situação de incêndio considerando as particularidades de dois grupos: o das pessoas em plena vitalidade física e da população denominada vulnerável, ou seja, crianças, idosos e pessoas com deficiência. Discorre, ainda, sobre o contingente desse grupo (população vulnerável) no Brasil e, por fim, os principais modelos matemáticos utilizados para simular o abandono de pessoas em edifícios.

2.1 COMPORTAMENTO HUMANO EM INCÊNDIO

Os estudos sobre o comportamento humano em situações de emergência são recentes; somente nas últimas décadas o assunto recebeu uma abordagem sistemática, proporcionando, assim, um desenvolvimento sobre este assunto.

Ao tratar da segurança dos ocupantes em um edifício, é importante entender e considerar os fatores que podem influenciar a resposta e o comportamento das pessoas frente a uma ameaça. O comportamento humano em situação de incêndio é uma das áreas mais complexas da engenharia de segurança contra incêndios, visto que o entendimento comportamental diante dessa situação ainda é limitado, se comparado com outras áreas da engenharia de segurança contra incêndio.

No entanto, entender e considerar os fatores humanos é essencial para se projetar com eficácia os meios de escape, garantir a segurança durante um incêndio ou qualquer outro evento onde se faça necessário a saída das pessoas, além de permitir a simulação de um incêndio durante a fase de projeto e na reconstituição dos sinistros.

Numa situação de incêndio podem ocorrer diversos fenômenos, tais como: a presença de chamas, aumento das temperaturas, presença de fumaça e gases tóxicos, que podem contribuir para provocar uma instabilidade emocional nas pessoas. Embora na maioria das vezes as pessoas apresentem um comportamento dentro dos padrões normais, tais fenômenos podem contribuir para que surjam comportamentos

denominados não adaptativos.

Os arquitetos, assim como os engenheiros, ao projetar um edifício utilizam rotineiramente regulamentações e normas para dimensionar os meios de escape e os sistemas ativos e passivos de segurança contra incêndios. Contudo, quando o assunto é o comportamento humano, a maioria dos projetistas têm pouco ou limitado conhecimento em ciências sociais e comportamentais (O' CONNOR, 2005).

Embora a compreensão em relação ao comportamento humano em situação de incêndio possa ser limitada, é desejável e possível que os projetistas adquiram um melhor entendimento sobre o tema e passem a utilizá-lo.

Os primeiros estudos acadêmicos acerca do comportamento das pessoas em situação de incêndio tiveram início nos Estados Unidos, nos anos de 1950. Um estudo sobre o incêndio ocorrido no *Arundel Park Hall*, Brooklin, no ano de 1956, examinou o fenômeno de reentrada no edifício. O estudo indicou que aproximadamente um terço das pessoas entrevistadas tinham reentrado no edifício. O local estava sendo utilizado para um evento familiar e, o papel cultural do pai ou marido, pode ter contribuído para o comportamento de reentrada da população entrevistada, predominantemente, de homens (BRYAN, 2002a, p. 330).

Diante das duas catástrofes ocorridas no ano de 1967 (os incêndios no veículo espacial Apolo 1 e no restaurante *Dale's Penthouse*, nos EUA), uma ordem do governo federal determinou a intensificação de pesquisas nas áreas de segurança contra incêndios. O centro para pesquisa em incêndio do *National Bureau of Standards* (NBS) do Departamento de Comércio foi formado em 1974 e tornou-se permanente. Desde então, tem se envolvido em muitas pesquisas sobre o comportamento humano em incidentes de incêndio, dentre outras. No ano de 1988, a denominação NBS passa a ser NIST.

Segundo Ono (2010), o primeiro seminário internacional sobre comportamento humano em incêndio aconteceu na Universidade de Surrey, Reino Unido, em março de 1977 (*International Seminar on Human behaviour in Fire*). Os trabalhos apresentados nesse seminário, que contou com um seleto conjunto de artigos,

produzidos por pesquisadores de instituições do Reino Unido, EUA e Canadá, resultaram na primeira publicação sobre o tema (CANTER, 1980).

O segundo Seminário foi conduzido em outubro de 1978 no *National Bureau of Standards* (atual *National Institute of Standards and Technology* – NIST) dos EUA. Os pesquisadores presentes estavam especialmente envolvidos com os métodos para investigação do comportamento humano em situação de incêndio tanto nos EUA quanto na Grã Bretanha.

A Universidade de Ulster organizou o primeiro Simpósio sobre Comportamento Humano em Incêndios em Belfast, Irlanda do Norte, no ano de 1998. Esse foi o primeiro simpósio dedicado ao tema em quase 20 anos, visto que o anterior, sobre o tema, ocorreu no ano de 1978. Desde então, esse simpósio ocorre com regularidade, sendo que a sexta edição ocorreu no ano de 2015.

Quando se trata de comportamento humano em incêndio, o conceito de pânico ainda é muito presente e inclusive utilizado de forma equivocada, em algumas regulamentações. De acordo com Proulx (2001), a ocorrência frequente de um comportamento de pânico durante os incêndios é uma crença falsa, um mito. Embora a mídia utilize esse conceito, com conotação sensacionalista, há poucas evidências que de fato ele ocorra. Pelo contrário, as pessoas parecem adotar atitudes racionais nessas situações. As pessoas costumam usar a palavra pânico como sinônimo de estar assustado, com medo, nervoso ou ansioso; circunstâncias que geralmente não implicam em comportamento irracional.

O pânico é caracterizado por uma ansiedade exacerbada que acomete o indivíduo antecipadamente ao fato. O conceito de pânico tem uma longa história. Ele tem origem na mitologia Grega, na figura do Deus Pan e é definido na lenda como uma “emoção contagiosa” instalada pelo deus no exército Persa, que embora fosse mais numeroso que o de seus inimigos gregos, perdeu a batalha de Marathon. Em uma situação de incêndio, o fato já está consumado, portanto, trata-se de uma ansiedade gerada por um evento real. Assim, o termo pânico deve ser utilizado com cautela em tais situações.

Ao analisar o comportamento das pessoas diante de um incêndio, Proulx (2001) declara que não se pode concluir que essas pessoas entraram em pânico, visto que as ações foram perfeitamente racionais para a situação, considerando as informações que essa pessoa tinha no momento do incêndio. O conhecimento limitado que as pessoas têm sobre o desenvolvimento de incêndios não as prepara para reagir da melhor maneira nessas situações. A maioria das pessoas que se deparam com uma situação de incêndio reagem de maneira racional, considerando a ambiguidade das pistas iniciais, seu conhecimento limitado sobre os incêndios e o tempo restrito que eles têm para tomar uma decisão e agir.

Kobes et al. (2010) declaram que entender como as pessoas se comportam em situação de incêndios e em evacuação é essencial se almejamos que as medidas de segurança contra incêndio estejam alinhadas com as necessidades dos usuários.

Entender o processo de evacuação e o comportamento humano em caso de incêndio, desenvolver ferramentas para avaliá-lo e, em seguida, produzir projetos que levem em consideração essas variáveis é de natureza multidisciplinar e requer contribuições de especialistas das mais diversas áreas. No entanto, a variedade de trabalhos produzidos tem introduzido muitas inconsistências na terminologia, nas técnicas empregadas, nas suposições feitas e nos objetivos gerais. Essas inconsistências podem influenciar o desenvolvimento dos modelos, assim como a configuração, aplicação e interpretação dos resultados produzidos pelos modelos (GWYNNE, BOYCE, 2016).

Em 2003, *Society of Fire Protection Engineers* (SFPE) dos EUA, publicou um guia denominado *Engineering Guide: Human Behavior*, cujo objetivo era fornecer orientação para a comunidade sobre vários tópicos do comportamento humano, tais como as características dos ocupantes, influências sociais e do incêndio sobre a resposta do ocupante, além das reações e movimento dos ocupantes em incêndio. O grupo de trabalho sobre comportamento humano da SFPE atualizou e ampliou a versão de 2003, o que resultou a segunda edição do *Engineering Guide to Human*

*Behavior in Fire*².

A saída segura das pessoas é o aspecto mais importante quando se trata da segurança contra incêndio em um edifício e cabe ao arquiteto, ainda na fase de projeto, defini-la. O termo segurança contra incêndio refere-se à prevenção de incêndios, limitação da propagação de fogo e fumaça, extinção do fogo e a possibilidade de uma saída rápida e segura dos seus ocupantes.

No entanto, uma série de incêndios ocorridos em edifícios revelaram que a fuga segura de um edifício em chamas nem sempre é possível para todos. Como exemplo, pode-se citar o incêndio da boate *The Station Nightclub*, ocorrido no ano de 2003, nos EUA, com um saldo de 100 mortos (NIST, 2005), o incêndio ocorrido em uma escola, no ano de 2004, na cidade de Kumbakonam, Índia (SRINIVASAN, G, 2004), que levou a morte 87 crianças, o da Boate Kiss, em 2013, na cidade de Santa Maria, Brasil, com um saldo de 242 mortos e, no ano de 2018, o incêndio ocorrido em um shopping center, na cidade de Kemerovo, Rússia, levou a morte 64 pessoas, sendo que 41 eram crianças.

Posto isso, entende-se que, além de se considerar as exigências contidas nas regulamentações e normas relativas aos meios de escape, os projetistas podem ir além, ou seja, considerar em seus projetos as particularidades dos grupos denominados vulneráveis, caso contrário, parte da população que utiliza os edifícios pode estar sendo desconsiderada.

Com a mudança de paradigma dos códigos prescritivos para os baseados em desempenho, a utilização de modelos matemáticos para a simulação de abandono se mostrou uma ferramenta útil quando da elaboração de projetos, principalmente os complexos. Mas para que sejam validados, há necessidade de conhecer o comportamento da população que se pretende simular. Embora vários estudos tenham sido realizados a partir dos anos de 1950, as particularidades da população

² A *Society of Fire Protection Engineers* (SPFE) disponibilizou no ano de 2017, para consulta pública, o *Guide to Human Behaviour in Fire, 2nd Edition* desenvolvido pelo grupo de trabalho sobre comportamento humano da SPFE. O draft estava disponível para sugestões até o dia 21 de dezembro de 2017. O texto nessa data continua disponível para consulta. Disponível em < <http://www.sfpe.org/?page=HumanBehavior>>. Acesso em 20 dez. 2017.

brasileira em relação ao seu comportamento em situação de incêndio, por exemplo, ainda são desconhecidas.

2.2 MOVIMENTO DE PESSOAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Em meados dos anos de 1950 tiveram início os primeiros estudos científicos sobre o movimento de pessoas. O principal foco era o movimento de pessoas em corredores, escadas e portas. Vários pesquisadores, incluindo Pauls (1980), Fruin (1987), Predtechcenskii e Milinskii (1978), coletaram informações detalhadas sobre velocidade e densidade. Seus estudos tiveram grande influência no desenvolvimento das normas e regulamentações de segurança contra incêndios em todo mundo.

A velocidade das pessoas adultas pode variar amplamente, atingindo até aproximadamente 10 m/s em uma corrida de curta distância, mas sob condições normais, em trechos planos, a velocidade média é de aproximadamente 1 m/s.

Variações na velocidade dependem de inúmeros fatores, tais como a idade, as características físicas, familiaridade com o edifício, características do edifício, as experiências prévias, o estado psicológico no momento do evento etc.

Entretanto, em situações de incêndio, determinar a velocidade das pessoas torna-se ainda mais complexo devido a outros fatores, além dos já citados, que podem interferir nesse processo, tais como:

- existência de simulados de abandono e de brigada de incêndio;
- características das escadas (tipo de piso, altura e largura dos degraus);
- nível de iluminação (condições de visibilidade);
- aspectos comportamentais das pessoas;
- densidade;
- presença de chama e fumaça;
- condições climáticas.

Estes fatores serão discutidos mais adiante neste capítulo.

2.2.1 Estudos consagrados na literatura acerca do movimento das pessoas

Os primeiros estudos científicos relativos ao movimento de pessoas foram realizados após a Segunda Guerra Mundial, quando foram desenvolvidas expressões analíticas para estimar o tempo de abandono das pessoas de uma edificação. Ono (2010), Valentin (2008) e Coelho (1997), são uns dos poucos trabalhos na língua portuguesa que abordam esta questão.

Vários pesquisadores já estudaram o movimento de pessoas adultas; porém, os estudos mais consistentes, que estão presentes na literatura científica atual, foram publicados somente a partir de 1955. Segundo Fahy e Proulx (2001 p. 177), não é esperado que as velocidades de caminamento das pessoas em trechos horizontais ou em escadas tenha se alterado significativamente com o passar dos anos. Entretanto, alguns fatores atualmente são considerados importantes, tais como a velocidade de movimento de um grupo familiar que é provavelmente determinada pela pessoa mais lenta ou de uma pessoa que caminha com dificuldade.

De acordo com Nelson e Mowrer (2002), nos últimos anos, as pesquisas para prever o fluxo de grupos de pessoas em situação de emergência tem aumentado. Contudo, as maiores contribuições incluem, como já mencionado, os trabalhos desenvolvidos por Predtechenskii e Milinskii (1978), Fruin (1987) e Pauls (1980) e os métodos desenvolvidos por eles são, na maioria dos casos, compatíveis e de apoio um do outro. De forma geral, estes métodos assumem que:

- Todas as pessoas iniciarão a evacuação no mesmo instante;
- Não haverá interrupção do fluxo dos ocupantes causado por decisões dos indivíduos envolvidos;
- Todos ou a maioria das pessoas envolvidas não são pessoas com deficiências físicas que impeçam, de maneira significativa, mantê-los junto ao grupo.

Esta abordagem é frequentemente referenciada como sendo o modelo hidráulico para

saídas de emergência. Outros trabalhos, tais como Bryan (2002b) e Canter, Breaux e Sime (1980) apresentam abordagens relacionadas as tomadas de decisões dos ocupantes no momento da evacuação e consideram os aspectos comportamentais dos indivíduos, como por exemplo, reconhecer o sinal de alarme, certificar-se de que abandonar o local se faz necessário, reentrar no edifício após já ter saído etc.

Segundo Proulx (2002), as pesquisas sobre o movimento de pessoas em situação de incêndio recaem em duas linhas: uma examina a capacidade de fluxo das saídas e a outra, avalia a reação das pessoas.

A primeira linha enfatiza o posicionamento das saídas como primordial, no entanto, a mesma autora afirma que a capacidade de saída, apesar de ser uma condição necessária para uma saída segura, não é uma condição suficiente. Essa linha assume que as pessoas iniciarão o seu movimento de forma ordenada no momento que o alarme for acionado, deixando imediatamente o que estão fazendo. A segunda linha leva em consideração a interação entre as pessoas, a familiaridade com o edifício, a opção de escolha das rotas a serem utilizadas e os tempos para ações prévias e para tomada de decisões, fatores que, somados, obviamente resultam num tempo de abandono maior.

Quatro grandezas fundamentais são utilizadas para prever o tempo de evacuação de um conjunto de pessoas a partir do momento que se inicia o movimento efetivo de abandono, a saber:

- Densidade de ocupação (pessoas/m²): é o número de pessoas que se encontra em uma unidade de área. No Brasil, a unidade de superfície utilizada é o m². Então, a unidade para densidade usada aqui é o número de pessoas por m².
- Velocidade (m/s): é a distância percorrida por uma pessoa em uma unidade de tempo. As unidades de tempo utilizadas habitualmente são o segundo e o minuto.
- Fluxo específico (pessoas/m.s): representa o número de pessoas que cruza uma unidade de largura (metros) em uma unidade de tempo (segundos).

- Fluxo total (pessoa/s): representa o número de pessoas que cruza um determinado ponto em uma unidade de tempo. O fluxo total é uma das mais importantes características do tráfego, visto que ele determina a largura do caminho de pedestres. Uma largura inadequada restringe o fluxo, resultando em inconveniências para os pedestres.

Essas grandezas estão relacionadas à largura dos caminhos nas equações fundamentais de tráfego, apresentada a seguir:

$$\text{Fluxo específico} = \text{velocidade} \times \text{densidade} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Fluxo total} = \text{velocidade} \times \text{densidade} \times \text{largura} \quad (\text{Equação 2})$$

A velocidade de tráfego e o fluxo dependem, em grande medida, da densidade de tráfego. Quanto maior a densidade, mais lenta é a taxa de movimento. Quanto à densidade, há de se considerar o tamanho das pessoas, que pode variar de acordo com suas características físicas e vestimentas (roupas) (PREDETECHENSKI; MILINSKII, p. 26).

Outra questão a ser considerada diz respeito à velocidade das pessoas de diferentes idades e sexos. Embora seja apenas de caráter ilustrativo, na Figura 1, observa-se que há um aumento na velocidade das pessoas até os 20 anos, quando se atinge seu ápice, a partir deste ponto, passa a decrescer de forma gradativa.

Figura 1 : Velocidade de caminhada das pessoas em diferentes idades e sexo.

Fonte: Shen, 2003

Na Tabela 2 são apresentadas as velocidades e fluxos específicos médios adotados nos métodos de dimensionamento de saídas de emergência que prevaleceram no Japão até a década de 1990 (ONO, 2010).

Tabela 2: Velocidades e fluxos médios adotados no Japão						
Autor	Situação		Capacidade de Movimento em Grupos de Pessoas			
			Velocidade (m/s)		Fluxo (pessoas/(m/s))	
			Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Honiuchi 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			

Fonte: Ono (2010).

Segundo Coelho (1997, p. 1), um estudo desenvolvido no *Building Research Establishment (BRE)*, em 1975, demonstra, com base em dados provenientes de vários países, um fluxo específico médio de 1,5 pessoas/m.s para circulações horizontais.

A Figura 2, extraída do mesmo trabalho, demonstra a relação entre fluxo específico e a densidade para circulações horizontais.

Figura 2: Variação do fluxo específico de evacuação em função da densidade de ocupação.

Fonte: Coelho (1997, p. 2).

Pode-se observar que o fluxo específico aumenta à medida que a densidade aumenta, atingindo o valor máximo de aproximadamente 1,8 pessoas/m.s, para uma densidade de aproximadamente 4,5 p/m². A medida que a densidade ultrapassa o valor citado, verifica-se uma diminuição expressiva do fluxo específico.

A Figura 3, ainda com base na mesma bibliografia, apresenta a variação da velocidade em função da densidade.

Figura 3: Variação da velocidade em função da densidade

Fonte: Coelho (1997, p. 2).

Percebe-se que à medida que a densidade aumenta, há uma diminuição da velocidade. Para baixas densidades, a velocidade aproxima-se da velocidade livre de cada indivíduo, entretanto, para altas densidades, a partir de 5,5 pessoas/m², a velocidade torna-se praticamente nula.

Ono (2010) apresenta graficamente as expressões matemáticas de velocidade de caminhada horizontal, desenvolvidas pelos pesquisadores descritos no Gráfico 1, que estabelecem as relações entre velocidade e densidade de pessoas.

Gráfico 1: Representação gráfica das expressões de velocidade de caminhada horizontal

Fonte: Ono (2010).

A autora constata a existência de concordância entre os diversos autores para densidades entre 1,0 e 2,0 pessoas/m². Para as curvas de Nelson e Fruin, quando a densidade atinge valores superiores a 3,5 pessoas/m, a velocidade tende a zero não havendo deslocamentos. Esta situação não se confirma para os demais autores que indicam haver movimento, mas diminuindo progressivamente a medida que a densidade aumenta.

De acordo com Fruin (1987) a locomoção em escadas é muito mais primorosa e restrita do que andar em trechos planos, até porque suas dimensões tendem a determinar muitos dos aspectos da locomoção, diferente das superfícies em nível, onde o pedestre pode ter mais liberdade para se movimentar. A distância do passo é imposta pelo comprimento do degrau. Assim como acontece com a velocidade de caminhada em uma superfície nivelada, a velocidade das pessoas em escadas varia de acordo com a idade e o sexo.

Os valores relativos a velocidade descendente de caminhada em escadas disponíveis na literatura, extraído do trabalho de Peacock, Hoskins e Kuligowski (2012) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Velocidades de movimento do ocupante em escadas

Ano	Velocidade (m/s)	Notas	Fonte
	0.52 ± 0.24	18-29 anos	Variours ^{a,b} .from Lord et al. (2005)
	0.52 ± 0.23	30-50 anos	Variours ^b .from Lord et al. (2005)
	0.49 ± 0.18	>50 anos	Variours ^b .from Lord et. Al. Lord et al. (2005)
	0.16 - 0.76	Ocupantes deficientes	Variours, from Lord et al. (2005)
1969	0.58 ± 0.15		Predtchenskii and Milinskii (1978) ^c
1972	0.762	Máxima	Fruin (1987), from Pauls (1995)
1972	0.6096	Moderada	Fruin (1987), from Pauls (1995)
1972	0.4826	Adequada	Fruin (1987), from Pauls (1995)
1972	0.2032	Aglomerações	Fruin (1987), from Pauls (1995)
1988	0.33 ± 0.16	Ocupantes deficientes	Boyce et al. (1999)
1988	0.7 ± 0.26		Boyce et al. (1999)
1995	1.1	Relativamente aptos	Proulx (2002)
1995	0.5		Proulx (2002)
2001	0.2	Valor mediano, 9/11 WTC Torres	Averill et al. (2005)
2001	0.26	WTC Torre norte	Galea et al. (2010)
2004	0.76 - 1.3	Velocidade em ângulos variados	Fujiyama and Tyler, 2004 Adaptado de Hostikka et al. (2007) ^d
2005	0.83 ± 0.18	6-pavimentos	Peacock et al. (2010)
2005	0.62 ± 0.10	11-pavimentos	Peacock et al. (2010)
2005	0.40 ± 0.18	18-pavimentos	Peacock et al. (2010)
2006	0.14 - 1.87	Escadas com marcações fotoluminescentes	Proulx et al. (2007) and Proulx and Bénichou (2010)
2007	0.64		Hostikka et al. (2007)

^a Inclui dados de Fruin (1987), Predtchenskii and Milinskii (1978), Boyce et al. (1999), Proulx (1999), Proulx et al. (1995), Fahy and Proulx (2001), Wright et al. (2001)

^b Em grande parte, dados de ocupações de escritórios, mas também incluem dados de Proulx (1999) em evacuações residenciais.

^c Inclui velocidades de movimento para densidades que os autores definem como típicas para a evacuação de escadas.

^d Dados convertidos da velocidade horizontal para a velocidade inclinada em função da geometria da escada

Fonte: Peacock, Hoskins e Kuligowski (2012). Tradução nossa.

Pode-se observar que não existe um valor que possa ser considerado como médio, principalmente devido à grande variabilidade nas velocidades. Para ocupantes com deficiência os valores apresentados variam entre 0,16 m/s e 0,76 m/s; para ocupantes sem deficiência, variaram entre 0,14 m/s e 1,87 m/s. Os pesquisadores não apresentaram velocidades de crianças.

De maneira geral, associa-se o tempo de saída de uma edificação em situação de incêndio à distância que o usuário percorrerá, mas isso é uma falácia. Segundo Proulx (2002, p. 3-347), o tempo necessário de evacuação é composto de outros fatores que o deixa relativamente complexo. Já o tempo disponível para a saída dos ocupantes em um incêndio está limitado ao tempo em que as condições insustentáveis a permanência humana atinjam as rotas de abandono. A Figura 4 ilustra os diferentes componentes de tempos disponíveis.

Figura 4: Linha do tempo de um caso de incêndio.

Fonte: British Standards Institute (2001), tradução nossa.

Sendo assim, embora a velocidade de caminhar seja um elemento importante no processo de evacuação, faz-se necessário entender cada uma destas parcelas de tempo, pois, em caso de incêndio, se a somatória de tempos que precedem o caminhar for muito alta, quando o ocupante decidir efetivamente iniciar o movimento, o limite tolerável à sobrevivência pode ser mínimo, ou seja, os gases quentes e tóxicos podem já ter invadido as rotas de fuga ou o incêndio pode já ter se alastrado.

Portanto, percebe-se que o tempo de escape ou abandono é a soma de cinco tempos parciais e a soma destes tempos deve ser menor do que o tempo em que as condições ambientais (gases tóxicos e calor) apresentem perigo à vida dos ocupantes da edificação, ou seja, menor que o tempo limite tolerável de sobrevivência.

2.2.2 Estudos sobre o movimento de populações vulneráveis

Os edifícios são projetados para fornecer certo nível de segurança para seus ocupantes em situação de emergência, no qual o incêndio está inserido. Quando se trata de populações denominadas vulneráveis, a primeira imagem que se tem é de pessoas que utilizam cadeiras de rodas, no entanto, este grupo é muito mais abrangente, incluindo outros subgrupos tais como as crianças que ainda não têm condições de tomar decisões, pessoas com dificuldades de locomoção, pessoas com deficiência visual, cardiopatas, mulheres grávidas, idosos, pessoas com deficiência mental, surdos etc. Além disso, todos podem estar vulneráveis em algum momento de suas vidas.

2.2.2.1 Estudos sobre o movimento de crianças

Embora os primeiros estudos científicos relativos ao movimento de pessoas, com o objetivo de avaliar o tempo de abandono em edificações, tenha se iniciado em meados dos anos de 1950, segundo Connolly (2000), estudos relativos à compreensão do comportamento motor dos seres humanos remontam a metade do século XVIII. Dietrich Tiedemann fez uma série de observações sobre seu filho recém-nascido e, em 1781, publicou uma monografia considerada como precursora para o estudo do

comportamento motor de crianças.

Na década de 1870, o fotógrafo britânico Eadweard Muybridge, que trabalhava na Califórnia, EUA, ficou conhecido por sua técnica fotográfica que registrava movimentos rápidos (25 imagens/s). Inicialmente, ele foi contratado pelo governador da Califórnia, que pretendia provar que em algum momento os cavalos em trote retiravam as quatro patas do solo. A partir deste trabalho, Muibridge continuou sua análise fotográfica dos movimentos de seres humanos e animais, com apoio da Universidade da Pensilvânia. Em 1889 publicou o livro “*Animals in motion*” e em 1901 o “*The Human Figure in Motion*”. Na Figura 5 é possível observar uma sequência de fotos com o registro de uma criança caminhando em trecho plano. Neste último trabalho, capturou imagens da marcha humana e influenciou trabalhos posteriores de biomecânica (VAUGHAN; DAVIS e O’CONNOR,1999).

Figura 5: Criança caminhando

Fonte: Muybridge (1907, p. 183)

De acordo com Gallahue et al. (2013), o caminhar, também denominado marcha, é uma habilidade complexa, que exige interação do sistema nervoso central dos músculos, articulações, sistemas sensoriais, das forças gravitacionais e das circunstâncias ambientais. O ciclo do caminhar tem duas fases: a fase de balanço e a fase de apoio. A fase de balanço se inicia quando a ponta do pé sai da superfície de apoio e termina quando o calcanhar encosta na superfície de apoio.

De acordo com Andrade (2002), durante a marcha de indivíduos, em velocidade natural, a duração do apoio é de aproximadamente 60% e o balanço de 40% do tempo total de um ciclo. Dentro do apoio, tem-se a duração de 10% para o primeiro apoio duplo e 10% para o segundo apoio duplo. A Figura 6 demonstra este ciclo.

Figura 6: Ciclo completa da marcha

Fonte: Andrade (2012)

Segundo Hamill e Knutzen (2012, p. 4) estudiosos utilizam os termos cinesiologia e biomecânica para descrever o estudo do movimento humano. A cinesiologia pode abranger uma série de investigações, tais como: fisiológica, anatômica, psicológica, ou a mecânica do movimento humano, ou seja, trata-se de um termo abrangente e precursor para a introdução da biomecânica. Já o estudo da biomecânica, extraído da física, se preocupa com o movimento e com as forças que incidem nesse. A *American Society of Biomechanics* definiu a biomecânica como “a aplicação das leis da mecânica ao movimento animado”. Outra definição proposta pela *European Society of Biomechanics*, é “o estudo das forças atuantes e geradas no interior do corpo e dos efeitos dessas forças nos tecidos, fluidos ou materiais utilizados no diagnóstico, tratamento ou pesquisa”.

As variáveis cinemáticas durante o andar têm sido amplamente estudadas na busca por uma melhor compreensão dos padrões de marcha e os dados coletados tem auxiliado no diagnóstico de problemas ortopédicos e neurológicos, além de permitir a avaliação de programas de reabilitação e, ainda, no desenvolvimento de produtos como prótese, calçados etc (DAVID; AVILA, 2000). A análise da marcha humana tem papel fundamental no estudo e no tratamento de patologias que envolvem o aparelho locomotor.

Segundo Sutherland, 1980 (apud DAVID, AVILA, 2000), aos três anos de idade o padrão maduro da marcha já foi estabelecido, embora as mudanças continuem até a puberdade, estabilizando-se aos vinte anos de idade e permanecendo constante durante a fase adulta.

Diferentemente do que ocorre com pesquisas de simulado de abandono, pesquisadores da biomecânica desenvolvem seus experimentos, na maioria dos casos, em ambientes controlados (laboratórios) e solicitam aos participantes que caminhem utilizando o andar denominado de velocidade livre, ou seja, o indivíduo adota a velocidade que lhe é mais conveniente ou preferida para realizar um determinado trajeto (MANFIO; DAVID e AVILA, 2011; STANSFIELD, 2001).

Durante muitos anos as pesquisas de movimento de abandono ficaram concentradas em adultos em pleno vigor físico, no entanto, nas últimas décadas, o foco está mudando para as populações denominadas vulneráveis (HORUKO; TSUMURA e MUROSAKI, 2001; NFPA, 2007; VALENTIM; ONO, 2014).

Recentemente, alguns pesquisadores têm se preocupado com a questão das saídas de emergência e o comportamento de crianças em situação de incêndio, tais como (KLÜPFEL; SCHRECKENBERG, 2003; ONO; TATEBE, 2004; LÁRUSDÓTTIR; DEDERICH, 2010; VALENTIN, 2008; ONO; VALENTIN; VITTORINO, 2012, LÁRUSDÓTTIR; DEDERICH, 2012, KHOLSHEVNIKOV; SAMOSHIN; PARFENENKO, 2009, CAPOTE et. al., 2012; KHOLSHEVNIKOV et al, 2012a; CUESTA; RONCHI; GWYNNE, 2015; ONO; VALENTIN; MIR, 2015). Dentre estes, os trabalhos listados no Quadro 1 são aqueles em que foram realizados levantamentos de dados de velocidades de crianças em escolas.

Quadro 1: Dados de velocidades de crianças pesquisadas por diversos autores

Autores	País	Faixa etária (anos)	Número de escolas	População de alunos
Klumpf, Schreckenberg (2003)	Alemanha	6-10	1	120
Lárusdóttir e Dederichs (2010)	Dinamarca	6 meses-6 anos	10	1017
Kholshevnikov et al (2012)	Rússia	3-7	1	114
Ono, Valentin e Vittorino (2012)	Brasil	6-14	1	706
Lárusdóttir (2010)	Dinamarca	6-15	7	667
Cuesta, Ronchi e Gwynne (2015) ³	Espanha	3-16	1	209-250

Fonte: Produzido pelo autor.

³ Cinco simulações na mesma escola – A população variou entre 209 e 250 alunos

É possível verificar que a quantidade de dados coletados ainda não é significativa para análises estatísticas mais apuradas e que, portanto, estes dados dificultam a generalização de resultados. Isto se agrava ainda mais, caso se considerem as diferenças antropométricas e culturais que podem existir entre as populações pesquisadas.

Lárusdóttir (2013) apresenta dois quadros com publicações relacionadas à segurança contra incêndio e crianças (Ver Quadro 2 e Quadro -3). Na primeira, apresenta trabalhos publicados entre 1975 e 2006, (onze trabalhos, dois sobre simulações de abandono) enquanto na segunda tabela, trabalhos publicados entre 2009 e 2012 (doze trabalhos, sendo onze sobre simulações de abandono), constatando, que a quantidade de publicações sobre o assunto aumentou significativamente nos últimos anos. Na sequência apresentaremos os dois quadros incluindo os trabalhos mais recentes.

Quadro 2: Literatura disponível sobre segurança contra incêndios e crianças antes de 2009

Ano	Título do trabalho	Autor (s)	Pais	Idade	Método
1975	A fire signal system for deaf school children	Kravontka, S.J.	EUA	-	pesquisa
1980	Playing witch matches: Children and fire	Kafry, D.	EUA	5-10	entrevistas
1985	A study of fire safety and evacuation planning for pre-school and day care centers	Murozaki, Y.; Ohnishi, K.	Japão	0-5	simulados de abandono e questionários
1986	Evacuating schools on fire	Van Bogaert, A.F.	Bélgica	-	pesquisa
1986	Fire safety research and measures in schools in Belgium	Van Bogaert, A.F.	Bélgica	-	pesquisa, teste de materiais
1994	Investigation of a behaviour response model for fire emergency situations in secondary schools	Horasan, M.; Bruck D.	Austrália	12-20	questionário
1999	Non-awakening in children in response to a smoke detector alarm	Bruck, D.	Austrália	6-17	experimentos e entrevistas
2001	The development of an education program effective in reducing fire deaths of preschool children	Gamache, S.; Porth, D.	EUA	3-5	pesquisa comparativa
2003	Comparison of an evacuation exercise in a primary school to simulation results	Klüpfel, H. et al	Alemanha	6-10	simulados de abandonos e por computador
2003	Balancing safety and security in the school environment	Szachnowicz A. L.	EUA	-	pesquisa
2004	A study on school children's attitude towards firesafety and evacuation behaviour in Brazil and the comparison with data from Japanese children	Ono, R.; Tatebe, K.	Brasil e Japão	11-14	pesquisa comparativa
2006	Towards the design and operation of fire safe school facilities	Hassanain, M.A.	Arábia Saudita	-	pesquisa

Fonte: Adaptado de Lárusdóttir (2013).

Quadro -3: Literatura disponível sobre segurança contra incêndios e crianças entre 2009 e 2017

Ano	Título do trabalho	Autor (s)	País	Idade	Método
2009	A study on evacuation of school buildings for elementary education	Ono, R.; Valentin, M.V.	Brasil	11-14	simulado por computador
2009	Pre-School and school children building evacuation	Kholshevnikov V. V. et al.	Rússia	3-17	Simulados de abandono e questionários
2010	Evacuation dynamics of children - walking speeds, flow through doors in daycare centers	Lárusdóttir, A. R.; Dederichs, A. S	Dinamarca	0-6	Simulados de abandono
2010	The evacuate training problems of earthquake in China	Lu, C.	China	3-18	pesquisa e simulado de abandono
2011	A step towards including children's evacuation parameters and behavior in fire safe building design	Lárusdóttir, A. R.; Dederichs, A. S	Dinamarca	0-6	Simulados de abandono
2011	Empirical data analysis and modeling of the evacuation of children from three multi-storey day-care centers	Campanella, M.C. et al	Dinamarca	0-6	simulados de abandonos e por computador
2012	Evacuation of children - movement on stairs and on horizontal plane	Lárusdóttir, A. R.; Dederichs, A. S	Dinamarca	0-6	Simulados de abandono
2012	Study of Children Evacuation from Pre-school education institutions	Kholshevnikov V.V. et al	Rússia	0-7	pesquisa e simulado de abandono
2012	Behavioural aspects of movement down stairs during elementary school fire drills	Lárusdóttir, A. R.; Dederichs, A. S	Dinamarca	6-15	Simulados de abandono
2012	Children evacuation: empirical data and egress modeling	Capote, J.A. et al	Espanha	3-16	simulados de abandonos e por computador
2012	Walking speed data of fire drills at an elementary school	Ono, R. et al	Brasil	6-14	simulados de abandono
2012	Children behaviour during evacuation process in school buildings	Capote, J.A. et al	Espanha	3-16	simulados de abandonos e por computador
2015	Experimental Study on Children Movement in a Stairwell of a Teaching Building	Huo, F. et al.	China		simulados de abandono e
2015	Comparative Study of Walking Speeds of School Children	ONO, R.; et. al	Brasil	6-14	pesquisa comparativa
2016	The collection and compilation of school evacuation data for model use	Cuesta, A; Gwynne, S. M. V.	Espanha	4-16	Simulados de abandono
2016	Projeto de saídas de emergência: estamos considerando as crianças?	Ono, R.; Valentin, M.V.	Brasil	-	pesquisa bibliográfica
2017	Velocidade de caminamento de crianças em escadas e trechos planos coletadas em simulados de abandono	Ono, R.; Valentin, M.V.	Brasil	6-14	simulados de abandono
2017	An Experimental Data-Set on Pre-school Children Evacuation	Najmanová, H.; Ronchi, E.	República Checa	3-6	simulados de abandono
2017	Human behaviour during evacuation of primary schools: Investigations on pre-evacuation times, movement on stairways and movement on the horizontal plane	Hamilton, G. N. et al.	Irlanda	4-12	simulados de abandono
2017	Walking speed data of Elementary School children – A comparison of different collecting techniques aiming at a proposal of a new method	Ono, R.; Valentin, M.V.	Brasil	9-13	simulados de abandono

Fonte: Adaptado de Lárusdóttir (2013).

Este aumento, possivelmente, tenha ocorrido em função dos códigos baseados em desempenho, presentes em vários países, como alternativa aos códigos prescritivos, visto que com o desenvolvimento da engenharia de segurança contra incêndio, novas possibilidades passaram a ser consideradas, sem que o nível de segurança contra incêndio fosse diminuído.

Os modelos para simulação de abandono são frequentemente utilizados nos códigos baseados em desempenho, como solução alternativa aos códigos prescritivos, pois possibilitam simular a saída dos ocupantes a fim de determinar quais são as áreas críticas durante o processo de abandono ainda em fase de projeto. No entanto, estes modelos carecem de dados relativos à população denominada vulnerável, grupo no qual as crianças estão inseridas.

Dentre os trabalhos analisados, o desenvolvido por Ono, Valentin e Vittorino (2012), em 6 simulados de abandono, foram coletados os dados de crianças de 5 a 17 anos. Todavia, os dados apresentados se restringiram à análise de crianças com idade entre 6 a 14 anos. No total, participaram 906 estudantes no período da manhã e 706 no da tarde, sendo que desses, 393 estavam presentes na escola em período integral, logo, participaram dos dois simulados. As rotas de evacuação foram monitoradas por CFTV e as imagens coletadas foram analisadas posteriormente. A frequência relativa de ocorrência das velocidades em corredores apresentou-se homogênea (velocidade média entre 0,4 e 1,8 m/s), no entanto, nas escadas, a curva apresentou uma tendência próxima de uma curva Gaussiana (velocidades médias entre 0,8 e 1,0 m/s). Segundo os autores, em geral, os dados obtidos não são muito diferentes dos outros poucos disponíveis para o campo de idade considerado. A idade não foi fator decisivo na velocidade de caminamento destes simulados. Houve grande variabilidade nas velocidades, inclusive para o mesmo grupo de estudantes (mesma idade). Isto pode ser explicado pela estratégia de saída dos alunos que foi adotada nos três simulados e também pela influência da velocidade de caminamento do primeiro aluno da sala de aula. Em geral, as velocidades nos corredores foram mais altas do que nas escadas.

Lárusdóttir (2013) apresenta pesquisa referente à velocidade de crianças em simulados de abandono, com idades que variam entre 6 e 15 anos, em escadas. Os

dados foram coletados em sete escolas, no ano de 2010, na Dinamarca, e a quantidade de estudantes analisados foi de 667. As pesquisadoras constataram que as velocidades de caminhada de crianças se alteram com a idade e convergem para a velocidade de caminhada de adultos. Para crianças com idade de 6 anos, a linha de tendência linear para a velocidade fica abaixo da curva de Nelson e Mowrer (2002), possivelmente por serem menores fisicamente e novos na escola. Contudo, para crianças com idade entre 10 e 11 anos, as velocidades se aproximaram da de adultos.

Cuesta, Ronchi e Gwynne (2015) apresentaram dados relativo à velocidade de crianças coletados em cinco simulados de abandono em escolas, realizados na Espanha, que contaram com a participação de crianças de 6 a 16 anos. Cada uma das simulações contou com uma população que variou entre 209 e 250 alunos e a técnica utilizada para a coleta foi o registro de imagens de CFTV. A pesquisa teve por objetivo compilar um conjunto de dados para aumentar o entendimento desta população considerada vulnerável, quantificar a natureza desta vulnerabilidade e fornecer subsídios para os desenvolvedores de software. Foram apresentados dados relativos às rotas utilizadas, tempos de pré-evacuação, velocidade de caminhada e tempo total da evacuação. A Tabela 4 apresenta as velocidades observadas.

Tabela 4: Velocidades observadas		
Período	Resumo do desempenho (m/s)	
	Escadas (Nº observações)	Horizontal (Nº observações)
Primário	0,94 [0,34 – 1,53] (359)	1,6 [1,0 – 3,1] (159)
Secundário	0,92 [0,24 – 1,79] (430)	1,2 [0,7 – 2,2] (214)

Fonte: Cuesta, Ronchi e Gwynne (2015).

Não foi possível realizar uma análise comparativa entre os três estudos, em função da maneira como os dados foram agrupados.

2.2.2.2 Estudos sobre o movimento de pessoas com deficiência

Nas últimas décadas têm existido um grande esforço para fornecer acesso para todas as pessoas na maioria dos edifícios. As normas relativas à acessibilidade estão bem enraizadas em vários países e preconizam o livre acesso de todas as pessoas. Sendo

assim, faz-se necessário compreender as particularidades deste grupo, negligenciado até pouco tempo pelos projetistas.

Segundo Charters e Crowder (2012), não há nenhuma maneira confiável de prever quanto tempo levará para uma pessoa altamente dependente abandonar um edifício antes que as condições se tornem insustentáveis.

Segundo Bryan (2002b), um dos estudos mais abrangentes e detalhados sobre o tema foi desenvolvido na Universidade de Ulster. Os pesquisadores conduziram vários estudos na Irlanda do Norte para determinar a quantidade e as características de pessoas deficientes esperadas em edifícios públicos e determinar a capacidade destas pessoas para completar uma evacuação. Este estudo apresentou uma série de contribuições acerca de pessoas com deficiência e segurança contra incêndios. Os principais dados referentes à velocidade em trechos horizontais e escadas são apresentados a seguir.

Tabela 5: Velocidade em superfície horizontal

Grupos de Pessoas (número)	Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Faixa de Velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Todos com deficiência (107)	1,00	0,42	0,10 - 1,77	0,71 - 1,28
Com dificuldade de locomoção (101)	0,80	0,37	0,10 - 1,68	0,57 - 1,02
Sem ajuda (52)	0,95	0,32	0,24 - 1,68	0,70 - 1,02
De muletas (6)	0,94	0,30	0,63 - 1,35	0,67 - 1,24
De bengala (33)	0,81	0,38	0,26 - 1,60	0,49 - 1,08
De andador (10)	0,57	0,29	0,10 - 1,02	0,34 - 0,83
Sem dificuldade de locomoção (6)	1,25	0,32	0,82 - 1,77	1,05 - 1,34
Em cadeira de rodas elétrica (2)	0,89	-	0,85 - 0,93	-
Em cadeira de rodas manual (12)	0,69	0,35	0,13 - 1,35	0,38 - 0,94
Em cadeira de rodas manual com assistência (16)	1,30	0,34	0,83 - 1,98	1,02 - 1,59
Ambulante com assistência (18)	0,78	0,34	0,21 - 1,40	0,58 - 0,92

Fonte: Boyce et al. (1999, apud Bryan, 2002b).

Analisando a Tabela 5, percebe-se que a velocidade média da maioria dos grupos ficou abaixo do valor médio descrito para pessoas sem deficiência, que é de aproximadamente 1,30 m/s, exceto para as pessoas com cadeiras de rodas com assistência; mesmo assim, houve casos em que a população deste grupo teve velocidade de 0,83 m/s. Uma possível justificativa para as velocidades deste grupo

(pessoas com cadeiras de rodas com assistência) se deve ao fato de que a pessoa que está assistido o cadeirante é que vai impor a velocidade. Deve-se ressaltar que os valores mínimos atingidos para a maioria dos grupos foram muito baixos, entre 0,10 e 0,24 m/s, exceto para os que utilizavam cadeiras de roda elétrica, muletas e cadeira de rodas com assistência, mas a amostra para estes três grupos também era pequena se comparada com os demais.

Tabela 6: Velocidade ascendente e descendente em escadas

Grupos de Pessoas (número)	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Ascendente				
Com dificuldade de locomoção (30)	0,38	0,14	0,13 – 0,62	0,26 – 0,52
Sem ajuda (19)	0,43	0,13	0,14 – 0,62	0,35 – 0,55
De muletas (1)	0,22	-	0,13 – 0,31	0,26 – 0,45
De bengala (9)	0,35	0,11	0,18 -0,49	-
De andador (1)	0,14	-	-	-
Sem dificuldade de locomoção (8)	0,70	0,24	0,55 – 0,82	0,55 – 0,78
Descendente				
Com dificuldade de locomoção (30)	0,33	0,16	0,11 – 0,70	0,22 – 0,45
Sem ajuda (19)	0,36	0,14	0,13 – 0,70	0,20 – 0,47
De muletas (1)	0,22	-	-	-
De bengala (9)	0,32	0,12	0,11 – 0,49	0,24 – 0,46
De andador (1)	0,16	-	-	-
Sem dificuldade de locomoção (8)	0,70	0,26	0,45 – 1,10	0,53 – 0,90

Fonte: Boyce et al. (1999, apud Bryan, 2002).

Pode-se observar, analisando a Tabela 6, que a quantidade de pessoas que participou dos experimentos em escadas foi significativamente inferior aos de trechos horizontais, pois várias pessoas não tiveram condições de participar em função de suas limitações físicas. As velocidades médias foram significativamente inferiores às descritas na literatura para pessoas sem dificuldade de locomoção e se assemelham as obtidas na pesquisa, que é de 0,70 m/s. Verifica-se, também, que as velocidades de descida foram inferiores às de subida, uma vez que os participantes declararam terem mais confiança na subida do que na descida.

Uma outra pesquisa, desenvolvida por Edwina (1993), entrevistou 27 pessoas com deficiência que estavam no complexo dos edifícios do World Trade Center, no ano de 1993, após o atentado a bomba ocorrido no subsolo. Em média, as 27 pessoas com

deficiência entrevistadas levaram 3,34 horas para completar a evacuação. Os tempos de evacuação variaram de menos de uma hora a mais de nove horas. Um homem em cadeira de rodas com amputação bilateral acima do joelho relatou o tempo de evacuação mais longo: mais de nove horas para descer do 70º andar. A falta de familiaridade com as escadas causou um certo número de problemas. Uma pessoa relatou que tropeçou nos patamares de escadas na escuridão, em parte porque os corrimãos não eram contínuos.

Dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros de Londres sobre incêndios ocorridos entre 1996 e março de 2007, apontam que há uma grande discrepância entre os tempos necessários para que as pessoas vulneráveis abandonem os edifícios. Pode-se observar no Gráfico 2 que a maioria das evacuações envolvendo menos de 50 pessoas levou menos de 5 min. para serem completadas. Contudo, pode-se observar no canto inferior direito do gráfico que duas evacuações com menos de 30 pessoas levaram 30 min. para serem finalizadas, pois haviam pessoas em salas de cirurgia e em tratamento intensivo (CHARTERS E CROWDER, 2012).

Gráfico 2: Quantidade de pessoas que evacuaram os edifícios x tempo total necessário para a evacuação ser completada.

Fonte: Charters; Crowder, 2012

Valentim e Ono (2014, p. 1944), apontam que há uma dicotomia entre o livre acesso preconizado por normas e regulamentações e a garantia de saída de todas as pessoas de forma autônoma.

De maneira geral, o acesso destas pessoas em edificações de múltiplos pavimentos se dá por meio de equipamentos eletromecânicos (elevadores ou plataformas), contudo, se este não for provido de mecanismos que permitam seu funcionamento em situação de emergência, a recomendação é que não seja utilizado em caso de incêndio. Sendo assim, o meio de transporte que permite o acesso aos pavimentos mais elevados em geral não pode ser utilizado em caso de incêndio para que as pessoas com deficiência possam abandonar o edifício com autonomia.

Embora seja de suma importância compreender todas as etapas que envolvem uma evacuação, inclusive a do caminhar, há de se considerar outros elementos de suma importância nesse processo, que são os planos de emergência, planos de abandono e a brigada de incêndio.

2.3 CRIANÇAS E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

2.3.1 O que é ser criança?

Embora existam as definições legais sobre o que é ser criança, vários pesquisadores, entre eles, Maria Montessori, Sigmund Freud, Jean Piaget, estudaram as maneiras como elas evoluem desde a concepção até a adolescência. Todavia, não há um momento exato no qual a criança se torna um adolescente. Desse modo, o conceito de períodos de desenvolvimento não segue princípios lógicos e é adotado para fins de discurso social (PAPALIA; OLDS; FELDMAN, 2009).

De acordo com o Estatuto da Criança e do Adolescente (BRASIL, 1990), “Artigo 2º - *Considera-se criança, para os efeitos desta lei, a pessoa até doze anos de idade incompletos, e adolescente aquela entre doze e dezoito anos de idade*”.

Conforme a Convenção sobre os Direitos da Criança, adotada pela Assembleia Geral da Nações Unidas em 20 de novembro de 1989, *“Artigo 1 - Nos termos da presente Convenção, criança é todo o ser humano menor de 18 anos”* (ONU, 1989).

A ciência do desenvolvimento tem sido influenciada cada vez mais pelas inter-relações entre o “intelecto” (nossas habilidades cognitivas), “coração” (emoções e motivação), “olhos e ouvidos” (percepção), corpo físico e as relações sociais e culturais. Uma plena compreensão requer a atenção de todas estas facetas (DIAMONT, 2007).

O filósofo inglês John Locke acreditava que a criança pequena é como uma “tábula rasa”, em que sociedade escreve. Já Jean-Jacque Rousseau acreditava que elas se desenvolvem de acordo com suas tendências naturais positivas, ao menos que a sociedade as corrompa. O debate entre ambas as filosofias conduziu a dois modelos de desenvolvimento humano: o mecanicista e o organísmico.

De acordo com Papalia, Olds e Feldman (2009, p. 27), atualmente, em vez de buscar estágios abrangentes, como mencionado, os cientistas procuram os comportamentos que apresentam continuidade ou a falta deles. Eles consideram as influências bidirecionais, isto é: “as pessoas mudam seu mundo ao mesmo tempo em que este as muda”.

Ainda de acordo com os mesmos autores, o desenvolvimento pode ser visto sob perspectivas teóricas diferentes e cada uma delas com suas particularidades. A seguir, no Quadro 4, apresentam-se as cinco perspectivas principais que fundamentam as mais influentes teorias sobre o desenvolvimento da criança.

Quadro 4: Cinco perspectivas sobre o crescimento humano

Perspectiva	Teorias importantes	Princípios básicos
Psicanalítica	Teoria psicosssexual de Freud	O comportamento é controlado por poderosas pulsões inconscientes.
	Teoria psicossocial de Erikson	A personalidade é influenciada pela sociedade e se desenvolve mediante uma série de eventos.
De aprendizagem	Behaviorismo, ou teoria da aprendizagem tradicional (Pavlov, Skinner, Watson)	As pessoas são respondentes; o ambiente controla o comportamento.
	Teoria da aprendizagem social (cognitiva social) (Bandura)	As crianças aprendem em um contexto social pela observação e pela imitação de modelos. As crianças contribuem ativamente para a aprendizagem.
Cognitiva	Teoria dos estágios cognitivos de Piaget	As mudanças qualitativas no pensamento ocorrem desde o nascimento até a adolescência. As crianças iniciam ativamente o desenvolvimento.
	Teoria sociocultural de Vygotsky	A interação social é central para o desenvolvimento cognitivo.
	Teoria do processamento de informações	Os seres humanos são processadores de símbolos.
Contextual	Teoria bioecológica de Bronbrenner	O desenvolvimento ocorre por meio da interação entre uma pessoa em desenvolvimento e cinco sistemas contextuais de influência circundantes e entrelaçadas, desde o microsistema até o cronossistema.
Evolutiva/ sociobiológica	Teoria do apego de Bowlby	Os seres humanos têm mecanismos adaptativos para sobreviver; períodos críticos ou sensíveis são enfatizados; as bases evolutivas biológicas para o comportamento e a predisposição para a aprendizagem são importantes.

Fonte: Adaptado de Papalia, Olds e Feldman (2009, p. 11).

Ainda que não exista um momento exato no processo de desenvolvimento da criança, há uma sequência de cinco períodos geralmente aceitos pela sociedade. A Tabela 7 apresenta apenas os dois períodos relacionados a esta pesquisa e estão divididos por idades aproximadas e arbitrárias.

Tabela 7: Características do desenvolvimento das crianças

Idade	Evoluções físicas	Evoluções cognitivas	Evoluções psicossociais
Terceira infância (dos 6 aos 11 anos)	O crescimento desacelera.	O egocentrismo diminui. As crianças começam a pensar logicamente, mas de maneira concreta.	A autopercepção torna-se mais complexa, afetando a autoestima.
	A força e as habilidades atléticas melhoram.	As habilidades da memória e da linguagem melhoram.	O compartilhamento de regras reflete a passagem gradual do controle dos pais para a criança.
	As doenças respiratórias são comuns, mas a saúde está geralmente melhor do que em qualquer outra época do curso de vida.	Os ganhos cognitivos permitem que as crianças se beneficiem da educação formal.	
		Algumas crianças apresentam competências ou dificuldades especiais de aprendizagem formal.	A turma de amigos assume importância central.
Puberdade (pré-adolescência) e adolescência (dos 11 até cerca de 20 anos)	O crescimento físico e outras mudanças são rápidos e profundos.	A capacidade para pensar abstratamente e para usar o raciocínio científico se desenvolve.	A busca da identidade, inclusive da identidade sexual, torna-se central.
	Ocorre a maturidade nos órgãos reprodutores.	O pensamento imaturo persiste em algumas atitudes e comportamentos.	O relacionamento com os pais geralmente é bom.
	Os principais riscos para a saúde surgem das questões comportamentais, tais como os transtornos alimentares e o abuso das drogas.	A educação se concentra na preparação para o Ensino Superior ou em uma vocação.	A turma de amigos pode exercer influência negativa ou positiva.

Fonte: Adaptado de Papalia, Olds e Feldman (2009, p. 11).

De acordo com Gallahue; Ozmum e Goodway (2013, p. 22), cada indivíduo tem suas idiossincrasias para a aquisição das capacidades de movimento e das habilidades de movimento. A associação entre faixa etária e a performance relativas ao movimento consideradas típicas, não representam nada além disso. Representam apenas tempos aproximados. Dentre os métodos para classificar os níveis de desenvolvimento, o mais popular, porém menos preciso, é a classificação cronológica. Sob essa ótica, o período considerado como infância inicia-se aos 2 anos e vai até os 10 anos. As mesmas autoras apresentam um modelo para o processo do desenvolvimento motor caracterizando a progressão sequencial das habilidades de movimento ao longo da vida (Ver Figura 7).

Figura 7: Fases e estágios do desenvolvimento motor

Fonte: Gallahue, Ozmum e Goodway (2013).

O estágio de proficiência, da fase do movimento fundamental, é atingido com a idade de 5 ou 6 anos. Esse período caracteriza-se pelo desempenho mecanicamente eficiente, coordenado e controlado. Entre os 7 e 8 anos, em geral, as crianças entram no estágio da habilidade de movimento de transição. Nesse período, a criança passa a aplicar as habilidades adquiridas na fase anterior para executar habilidades especiais em ambientes esportivos e recreativos. Contudo, o desenvolvimento dos indivíduos durante as várias fases é dependente das experiências e da constituição genética de cada um (GALLAHUE; OZMUM E GOODWAY, 2013).

Assim, cada um desses estágios representa um momento com características específicas na vida de cada criança. Visto que existe um processo que é inerente à idade, atenção específica deveria ser dada a cada grupo de crianças, tal como: a maneira de ensiná-las sobre os fenômenos do incêndio; sobre como devem se comportar caso a alarme seja soado etc.

2.3.2 Crianças no Brasil

De acordo com o Censo Demográfico de 2010 (BRASIL, 2011), elaborado pelo

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população brasileira atingiu 190.755.799 habitantes. O Censo apresenta a população por grupos de faixa etária. Considerando que essa pesquisa trata de alunos matriculados no ensino fundamental I, isto é, com idade entre 6 e 10 anos aproximadamente, e com o objetivo de saber qual é a população de crianças no país, extraímos a população de crianças com até 14 anos conforme pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8: População de crianças com até 14 anos

Grupos por faixa etária (em anos)	População	Porcentagem aproximada em relação a população brasileira
0-4	13.796.158	7,23
5-9	14.969.375	7,85
10-14	17.166.761	9,0
Total	45.932.294	24,08

Fonte: Brasil (2011). Adaptado pelo autor.

No entanto, embora crianças pertençam ao grupo de pessoas vulneráveis (FRUIN, 1987), elas não são as únicas. De acordo com a Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência (BRASIL, 2012), 45.623.910 dos brasileiros, 23,9% da população total, têm algum tipo de deficiência investigada – visual, auditiva, motora e mental ou intelectual. Os tipos de deficiência variam com a idade com maior incidência na população de 65 ou mais anos, mostrando o processo de envelhecimento e a consequente perda de funcionalidades.

O Gráfico 3 apresenta o número de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas, dividida em três grupos de idade.

Gráfico 3: Número de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas, por grupo de idade

Fonte: BRASIL (2012).

Tendo-se em vista que existe no país 45.932.294 crianças com até 14 anos (ver Tabela 8), 14.081.477 de pessoas com mais de 65 anos (IBGE, 2011, p.113), (67,73% apresentam algum tipo de deficiência – Ver Gráfico 4) e que 32.609.022 brasileiros com idade entre 15 e 64 anos com algum tipo de deficiência (Ver Gráfico 4), pode-se concluir que 92.622.793 brasileiros, ou melhor, 48,55% da população total, fazem parte do grupo denominado de pessoas vulneráveis.

Gráfico 4: Percentual de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas, por grupo de idade

Fonte: BRASIL (2012).

No Brasil, a educação básica é o primeiro nível do ensino escolar e compreende três etapas: a educação infantil (para crianças de zero a cinco anos), o ensino fundamental (para alunos de 6 a 14 anos) e o ensino médio (para alunos de 15 a 17 anos) (BRASIL, 2013).

De acordo com o Censo Escolar da Educação Básica 2013 (INEP, 2014, p.12), elaborado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), vinculado ao Ministério da Educação (MEC), nos 190.706 estabelecimentos de educação básica do País, estão matriculados 50.042.448 alunos, sendo 41.432.416 (82,8%) em escolas públicas e 8.610.032 (17,2%) em escolas da rede privada. As redes municipais são responsáveis por quase metade das matrículas (46,4%), o equivalente a 23.215.052 alunos, seguida pela rede estadual, que atende a 35,8% do total, 17.926.568 alunos. A rede federal, com 290.796 matrículas, participa com 0,6% do total. A Tabela 9 apresenta estes dados.

Tabela 9: Número de matrículas na educação básica por dependência administrativa – Brasil - 2013

Matrículas na Educação Básica					
Total Geral	Pública				Privada
	Total	Federal	Estadual	Municipal	
50.042.448	41.432.416	290.796	17.926.568	23.215.052	8.610.032
100 %	82,8 %	0,7 %	43,3 %	56,0 %	17,0 %

Fonte: Adaptado de INEP (2013, p.13).

A quantidade de alunos matriculados na educação básica é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Número de matrículas na educação básica por modalidade e etapa de ensino – Brasil – 2013.

Matrículas de Educação Básica por Modalidade e Etapa de Ensino													
Localização	Total Geral	Ensino Regular							Ed. de Jovens e Adultos (Presencial e Semi Presencial)		Educação Especial		
		Educação Infantil			Ensino Fundamental			Ensino Médio	Ed. Profissional (Concomitante e Subsequente)	Fundamental	Médio	Classes Espec. e Escolas Exclusivas	Classes Comuns (alunos incluídos)
		Total	Creche	Pré-Escola	Total	Anos Iniciais	Anos Finais						
Total	50.042.448	7.590.600	2.730.119	4.860.481	29.069.281	15.764.926	13.304.355	8.312.815	1.102.661	2.447.792	1.324.878	194.421	648.921

Fonte: Adaptado de INEP (2013, p.13).

Notas:

- Não inclui matrículas em turmas de atendimento complementar e atendimento educacional especializado (AEE).
- Ensino médio: inclui matrículas no ensino médio integrado à educação profissional e no ensino médio normal/ magistério.
- Educação especial classes comuns: as matrículas já estão distribuídas nas modalidades de ensino regular e/ou educação de jovens e adultos.
- Educação de jovens e adultos: inclui matrículas de EJA presencial, semipresencial, EJA presencial de nível fundamental Projovem (Urbano) e EJA integrado à educação profissional de nível fundamental e médio.

Ao observarmos os números apresentados, é possível verificar que a população de crianças com idade até 10 anos, matriculadas no ensino regular, sem considerar as crianças matriculadas na modalidade de educação especial, representam quase metade de todas as matrículas da educação básica, correspondendo a 12,24% da população total brasileira. Já a quantidade de alunos matriculados na educação infantil (anos iniciais) e ensino fundamental I, (com idade até aproximadamente 10 anos), representam 23.355.526 matrículas, ou seja, 46,7% das realizadas na educação básica.

2.3.3 Crianças e o fogo

A partir de meados do século passado a quantidade de pesquisas relacionadas ao comportamento de pessoas em situação de incêndios aumentou significativamente. Essas pesquisas se preocuparam, essencialmente, com a população de adultos saudáveis. No entanto, nos últimos anos a comunidade científica tem demonstrado interesse no grupo de pessoas denominadas vulneráveis.

Pesquisas realizadas em simulados de abandono têm demonstrado que o comportamento de crianças se difere do de adultos, principalmente nas tenras idades (HAMILTON; LENNON; O'RAW, 2017; CUESTA; GWYNNE, 2016; NAJMANOVÁ; RONCHI, 2017). Suas habilidades motoras e cognitivas ainda estão em fase de desenvolvimento e não são comparáveis a de um adulto. Além da dificuldade de reconhecer o perigo, as crianças são curiosas e tendem a tocar e manipular qualquer objeto em seu alcance. Isso inclui pontas de cigarro, isqueiros, fósforos, velas e fogões. Posto isso, se não forem treinadas para agir corretamente, a possibilidade de tomarem decisões imprevisíveis aumenta.

De acordo com Kafry (1980), as crianças desenvolvem fascinação pelo fogo no início da infância. O primeiro contato com o fogo é frequentemente iniciado pelas próprias crianças, com ou sem autorização dos pais ou até como desafio à proibição parental. Quando ocorrem sem a autorização ou supervisão, podem resultar em incêndios e, como consequência, ferimentos e danos materiais.

O risco de morte e ferimentos entre crianças de até 4 anos é substancialmente maior se comparado ao dos mais velhos, visto que as menores são mais dependentes de seus responsáveis e ainda não desenvolveram plenamente suas habilidades locomotoras. Embora crianças com idade superior a 4 anos sejam mais ágeis e menos dependentes, elas podem não ter a capacidade de se protegerem sozinhas (FEMA, 2013).

Ainda de acordo com os dados contidos no relatório citado anteriormente, nos EUA, em 2010, 357 crianças com menos de 14 anos morreram vítimas de incêndio, das quais 57% tinham idade inferior a 4 anos. Os dados contidos na Tabela 11

demonstram a quantidade de mortos e feridos por grupos de idade.

Tabela 11: Crianças mortas e feridas em incêndio no ano de 2010 nos EUA

		0 a 4 anos		5 a 9 anos		10 a 14 anos	
	Total	Quantidade	Porcentagem	Quantidade	Porcentagem	Quantidade	Porcentagem
Mortes	357	204	57,1	103	28,9	50	14
Feridos	1988	964	48,5	441	22,2	583	29,3

Fonte: FEMA ,2013 – Traduzido e adaptado pelo autor.

Os dados demonstram que as vítimas fatais diminuíram com o aumento da idade. Com relação aos feridos, a prevalência também está nas crianças com idade até 4 anos. Já nos grupos seguintes, o padrão decrescente não se manteve, porém, os possíveis motivos para o aumento da quantidade de feridos para o grupo de 10 a 14 anos não são apresentados.

Segundo pesquisa realizada por Kafry (1978 apud KAFRY, 1980), na Califórnia, EUA, com uma amostra de 99 garotos, observou-se que o interesse pelo fogo era quase unânime e que 45% dos garotos estudados brincaram com fogo. Tal dado é alarmante e indica problemas graves com relação aos esforços de prevenção contra incêndio por parte dos pais e instituições responsáveis.

Diversos países já implementaram campanhas de conscientização que integram palestras, jogos, vídeos, literatura de forma lúdica. Só nos EUA, de acordo com Satyen, Barnett e Sosa (2004), existem 77 programas de segurança contra incêndio voltados para o público infantil. Dentre esses estão o desenvolvido pela *National Fire Protection Association (NFPA)* (EUA), denominado *Learn Not to Burn®*, o *Sesame Street Fire Safety Program*, da *U.S. Fire Administration* (EUA) e o *Fire Safe Kids*, da *Country Fire Authority* (Austrália).

No Brasil os programas de conscientização acerca da segurança contra incêndio são pontuais. Não há um programa de âmbito nacional que aborde o tema. Existe, porém, o Programa Brigada Escolar desenvolvido pelo governo do Estado do Paraná cujo objetivo é construir uma cultura de prevenção no ambiente escolar.

Ono e Tatebe (2004) realizaram uma pesquisa cujo foco era avaliar o comportamento de crianças durante o processo de abandono, levando em conta a capacidade

intelectual, o reconhecimento do risco do incêndio e a capacidade das crianças em encontrar o caminho de saída. Para obtenção dos dados, foram aplicados questionários as crianças de 4 escolas públicas na cidade de São Paulo e de 17 escolas do Japão.

Na pesquisa, solicitava-se que os alunos demarcassem em planta qual caminho seguiriam a fim de encontrar um local seguro, caso houvesse um incêndio na escola. O Gráfico 5 apresenta graficamente as respostas dos alunos da 6ª série de ambos os países.

Gráfico 5: Resultado das rotas de escape desenhadas pelos alunos da 6ª série.

Fonte: Ono, Tatebe (2004).

Ao analisar os resultados, foram percebidas diferenças significativas entre as respostas das crianças dos dois países. No Japão, 85% das crianças estudadas foram capazes de identificar a rota mais segura enquanto no Brasil, apenas 31% das crianças tiveram essa capacidade. Outra questão relevante e preocupante foi que 37% das crianças brasileiras não conseguiram responder a questão, mostrando, assim, a importância dos treinamentos em SCI.

A discrepância entre os resultados pode ser explicada pela frequência com que são realizadas as simulações de abandono. No Japão elas ocorrem anualmente, tornando os envolvidos mais preparados para agir em situação de emergência.

Infelizmente, em São Paulo, os simulados de abandono não são práticas recorrentes, apesar da existência de regulamentação estadual e norma brasileira determinando que sejam, conforme por ser observado no texto extraído da Instrução Técnica Nº 17

do Decreto Estadual Nº 56.819/2011 (São Paulo, 2014) e da Norma Brasileira que trata de planos de emergência ABNT-NBR 15.219 (ABNT, 2005).

Exercícios simulados: Deve ser realizado, no mínimo a cada 6 meses, um exercício simulado no estabelecimento ou local de trabalho com participação de toda a população. Imediatamente após o simulado deve ser realizada uma reunião extraordinária para avaliação e correção das falhas ocorridas (IT Nº 17/2014).

Exercícios simulados : Devem ser realizados exercícios simulados de abandono de área, parciais e completos, no estabelecimento ou local de trabalho, com a participação de toda a população, sendo que para o risco baixo ou médio, o período máximo é de seis meses para simulados parciais e 12 meses para simulados completos. (ABNT-NBR 15.219/2005).

Segundo Satyen, Barnett e Sosa (2004), na Austrália, acidentes são responsáveis por um terço de todas as mortes entre crianças de 1 a 14 anos e entre os acidentes estão incluídas as mortes relacionadas a incêndios. Tal fato demonstra a importância do ensino da segurança contra incêndio para as crianças, e os simulados de abandono fazem parte deste caminho.

A curiosidade faz parte da natureza infantil e, por isso, é inevitável. Ao considerarmos a pesquisa desenvolvida por Kafry, já citada, que evidencia a fascinação das crianças pelo fogo, mostra-se de suma importância a implementação de programas educativos voltados ao tema.

2.4 PROJETO BASEADO EM DESEMPENHO E MODELOS MATEMÁTICOS PARA SIMULAÇÃO DE ABANDONO

No projeto baseado em desempenho (PBD) o profissional projetista deve demonstrar tecnicamente, por meio de métodos científicos, alternativas satisfatórias para o problema proposto, sob o prisma técnico e econômico. No modelo prescritivo, o profissional projeta para estar em conformidade com as regulamentações e normas, sem possibilidade de soluções alternativas.

Diante desse novo cenário, com a adoção do PBD por vários países, é que os softwares têm sido utilizados na área de segurança contra incêndio. Inicialmente abordaremos o conceito de PBD e na sequência as características dos modelos de abandono.

2.4.1 Projeto baseado em desempenho

De acordo com Lord e Marrion (2003), vários países desenvolveram um conjunto de exigências prescritivas consideradas satisfatórias e que fornecem um nível mínimo aceitável de segurança contra incêndio. Esses documentos normalmente indicam diretrizes a partir das quais é possível projetar a maioria dos edifícios. Contudo, muitos países têm considerado que os códigos tradicionais, puramente prescritivos, nem sempre oferecem a flexibilidade necessária para satisfazer projetos mais complexos. Sendo assim, há uma tendência para a aceitação da abordagem baseada no desempenho (BD) em muitos países ao redor do mundo. Alguns usam essa abordagem há muitos anos, como Suécia, Austrália, EUA, Japão, enquanto outros estão nos estágios iniciais de desenvolvimento e aceitação desse processo.

A diferença entre os códigos BD e os prescritivos é que o primeiro está concentrado em resultados aceitáveis e não em um conjunto de soluções limitadas.

Meacham e Tubbs (2007, p. 119), discorreram sobre o dimensionamento das saídas de emergência sob o prisma da abordagem BD. De acordo com os autores, a evacuação total de um edifício normalmente requer capacidades de saídas maiores que as normalmente exigidas pelos códigos atuais baseados na evacuação faseada. No entanto, não existe um tempo máximo para evacuação aceito universalmente. Tampouco um tempo único teria algum significado, dada a diversidade de edifícios, a variabilidade de usos e da população que os ocupa. Ao utilizar a abordagem BD, os perigos podem ser analisados com objetivo de determinar o momento em as condições se tornarão perigosas. Essa abordagem pode ser usada para estimar, com algum nível de confiabilidade, o tempo máximo disponível para os ocupantes saírem do edifício.

As regulamentações tradicionais geralmente consideram para fins de exigências a quantidade de saídas, a largura das saídas, as distâncias máximas a serem percorrida, o leiaute do prédio etc. Porém, em caso de incêndio, os aspectos ambientais precisam ser considerados. Esses incluem os prováveis efeitos debilitantes do calor, gases tóxicos e irritantes e o impacto do aumento da densidade de fumaça na velocidade de caminamento e na capacidade de encontrar as saídas. Os métodos tradicionais não abordam todas essas questões de maneira quantitativa, preferindo confiar quase totalmente em um conjunto de regras predefinidas. Como os métodos prescritivos tradicionais são insensíveis ao comportamento humano ou aos cenários de um incêndio, não está claro se eles realmente oferecem a solução ideal em termos de eficiência de evacuação. Com os modelos computacionais de simulação de abandono é possível superar essas deficiências e atender às necessidades não apenas dos projetistas, mas também dos legisladores, nesse momento em que os PBD emergem (GWYNNE et al., 1999).

Diante da abordagem BD, os modelos têm adquirido força. Perante essa realidade e sem prejuízo à segurança dos usuários, os projetistas podem se valer dessas ferramentas para obter um cenário satisfatório para todos os envolvidos, ou seja, empreendedores, usuários e o poder público.

Embora existam diversos modelos passíveis de serem utilizados na área de segurança⁴ contra incêndio em edificações, nesse trabalho abordaremos somente os modelos de abandono.

2.4.2 Modelos computacionais para simulação de evacuação

No passado recente, tanto os modelos de evacuação por computador quanto seu uso, expandiram-se devido ao desenvolvimento tecnológico e à demanda por técnicas flexíveis que permitem soluções alternativas para projetos complexos. Os modelos de evacuação podem ser utilizados em vários ambientes em que há permanência humana, tais como edifícios, meios de transporte e áreas urbanas adensadas. Podem

⁴ Maiores informações sobre os modelos utilizados na área de segurança contra incêndios podem ser encontradas em <http://www.firemodelsurvey.com/> (Acessado em 20 nov. 2017).

também ser utilizados para simular diferentes tipos de cenários, como a evacuação de um edifício, ameaças de bomba, ataques terroristas, manifestações e até mesmo relocação⁵ (ao invés de evacuação) dentro de um edifício. (KULIGOWSKI, 2016).

Contudo, em alguns casos, os projetistas utilizam ainda cálculos “manuais”. Nos cálculos manuais, conforme Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010, p. 1), geralmente se seguem as equações dadas no *Handbook* da *Society of Fire Protection Engineers (SFPE)*. Essas equações presumem que os ocupantes estarão preparados para abandonar o edifício assim que o alarme for acionado. Os cálculos tratam os ocupantes como partículas que seguem regras preestabelecidas. As interações com outros indivíduos, as condições ambientais (incluindo os efeitos do fogo) e os processos de tomada de decisão dos indivíduos são ignorados nesse tipo de cálculo.

Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010) realizaram uma pesquisa com o objetivo de apresentar as características de 26 modelos de simulação de abandono existentes e fornecer subsídios para os usuários na escolha do modelo mais apropriado para seu uso. Modelos que não tiveram nenhuma publicação revisada por seus pares desde o ano 2000 não foram contemplados na pesquisa. Com relação ao método de modelagem para calcular os tempos de evacuação dos edifícios, eles foram categorizados em três grupos e serão descritos abaixo.

- Modelos comportamentais (B): modelos que simulam os ocupantes realizando ações, além do movimento em direção a um objetivo específico (saída). Esses modelos também podem incorporar a tomada de decisões pelos ocupantes e / ou ações que são executadas devido às condições ambientais.
- Modelos de movimento (M): modelos no qual os ocupantes se movem de um ponto do edifício para outro (geralmente para a saída ou um local seguro) sem levar em consideração o comportamento humano. Esses modelos são úteis para mostrar áreas de congestionamento, enfileiramento ou gargalos no edifício

⁵ Esse tipo de estratégia é utilizada em locais onde as pessoas têm dificuldades para se locomover. Hospital é um exemplo. Ao invés de evacuar o edifício, as pessoas são transferidas para uma área segura que pode ser no mesmo andar.

simulado.

- Modelos de comportamento parcial (PB): são modelos que calculam principalmente o movimento dos ocupantes, mas começam a simular comportamentos. Possíveis comportamentos podem ser implicitamente representados por distribuições de tempo de pré-evacuação entre os ocupantes, características particulares dos ocupantes, comportamento de ultrapassagem e a introdução dos efeitos da fumaça no ocupante. Esses modelos, no entanto, não simulam ações comportamentais e tomadas de decisão explicitamente.

Na mesma revisão os autores categorizam os modelos por suas características. Na Tabela 12 são apresentados os modelos pesquisados por Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010) e no Quadro 6, a descrição das principais características analisadas:

Tabela 12: Características gerais dos modelos de abandono

Modelo	Disponibilidade para o público	Método de modelagem	Propósito	Tipo de grelha	Perspectiva do M/O	Comportamento	Movimento ^a	Dados de incêndio	CAD	Visualização	Validação
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
WAYOUT	Y	M	5	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
STEPS ^c	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1, 2	Y	2,3-D	C, FD, PE
PEDROUTE	Y	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
Simulex ^b	Y	PB	1	Co.	I	I	ID	N	Y	2-D	FD, PE, 3P
GridFlow	Y	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD, PE
FDS+Evac ^c	Y	PB	1	Co.	I	I, C, P	ID	Y3	N/Y	2,3-D	FD, PE, OM
Pathfinder	Y	PB	1	Co.	I/G	I	D, ID	N	Y	2,3-D	C, FD, PE,
SimWalk ^c	Y	PB	1,3	Co.	I	C, P	P	N	Y	2,3-D	FD, PE, 3P
PEDFLOW ^c	Y	B	1	Co.	I	C, P	ID	Y2	Y	2,3-D	PE
PedGo ^c	Y, N1	PB/B	1	F	I/I, G	I/C, P	P, E (CA),	Y2	Y	2,3-D	FD, PE, OM,
ASERI ^c	Y	B-RA	1	Co.	I	C, P	ID	Y1, 2	Y	2,3-D	FD, PE
BldEXO ^b	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	T1, 2	Y	2,3-D	FD, PE, OM,
Legion ^c	Y, N1	B	1	Co.	I	AI, P	ID, C	Y1	Y	2,3-D	C, FD, PE,
SpaceSensor ^c	Y	B	3	Co.	I	C, P	C, Ac_K	N	Y	2,3-D	FD, OM
EPT ^c	Y, N1	B	1	F	I	AI	UC, C	Y2	Y	2,3-D	FD
Myriad II ^c	Y, N1	B	1	C, F, Co.	I	AI	D, UC, IP, Ac_K	Y1	Y	2,3-D	PE, 3P
MassMotion ^c	Y, N1	B	1	Co.	I/I, G	AI, P	C	N	Y	2,3-D	C, FD, PE,
PathFinder	N1	M	1	F	I/G	N	D	N	Y	2-D	N
ALLSAFE	N1	PB	5	C	GI	I	Un_F	Y1, 2	N	2-D	OM
CRISP	N1	B-RA	1	F	I	C, P	E, D	Y3	Y	2,3-D	FD
EGRESS 2002	N1	B	1	F	I	C, P	P, D (CA)	Y2	N	2-D	FD
SGEM ^c	N1	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2-D	FD, OM
EXIT89 ^c	N2	PB	1	C	I	I/C, P	D	Y1	N	N	FD, 3P
MASSEgress ^b	N2	B	1	Co.	I	C, AI	C	N	Y	2,3-D	PE, OM
EvacuationNZ ^c	N2	B	1	C	I/I, G	I, C, P	D, UC	Y2	Y	2-D	FD, PE, OM

Fonte: Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010).

a - Apenas os métodos subjacentes utilizados pelo algoritmo são listados. Em alguns casos, os usuários podem definir outras opções.

b - Os desenvolvedores de modelos / NIST forneceram uma atualização sobre o desenvolvimento do modelo na primavera de 2009.

c - Os desenvolvedores de modelos / NIST forneceram uma atualização sobre o desenvolvimento do modelo no outono de 2010.

Quadro 5: Legenda da Tabela 12

Disponibilidade dos modelos	Y	O modelo está disponível para o público gratuitamente ou mediante pagamento	Movimento dos ocupantes	D	Densidade
	N1	A empresa utiliza o modelo para clientes em consultorias		UC	Escolha do usuário
	N2	O modelo ainda não foi lançado		ID	Distância interpessoal
Método de modelagem	M	Modelo de movimento		P	Potencial
	M-O	Modelos otimizados/movimento		E	Próxima célula da malha
	PB	Modelo de comportamento parcial		C	Condicional
	B	Modelo comportamental		Ac_K	Conhecimento adquirido
	B-RA	Modelo comportamental com capacidade para avaliação de risco		Um_F	Fluxo desimpedido
Propósito do modelo	1	Modelos que podem simular qualquer tipo de edifício	Dados de incêndio de	CA	Células autônomas
	2	Modelos que são específicos para residências		N	O modelo não incorpora dados de incêndio
	3	Modelos que são específicos para transportes públicos		Y1	O modelo não importa dados de incêndio de outros modelos
	4	Modelos que são capazes de simular edifícios inferiores a 15 pavimentos		T2	O modelo permite que o usuário insira dados de incêndio durante a evacuação
	5	Modelos que simulam apenas uma rota/saída do edifício		Y3	O modelo pode ter seu próprio modelo de incêndio que pode ser executado simultaneamente
Tipo de grelha / estrutura do modelo	C	Rede grossa	CAD	N	O modelo não permite a importação de desenhos em CAD
	F	Rede fina		Y	O modelo permite a importação do CAD
	Co	Continua		N	O modelo não tem capacidade de visualização
Perspectiva do modelo/ocupante	G	Perspectiva global	Métodos de visualização	2-D	O modelo permite a visualização em 2-D
	I	Perspectiva individual		3-D	O modelo permite a visualização em 3-D
Comportamento dos ocupantes	N	Sem comportamento	Probabilístico	C	Validação perante as exigências das regulamentações
	I	Implícito		FD	Validação perante exercícios de abandono ou outras experiências / testes de movimentação de pessoas
	C	Condicional ou baseado em regras		PE	Comparação com literatura sobre experimentos anteriores de evacuação (taxas de fluxo, etc.)
	AI	Inteligência artificial		OM	Comparação com outros modelos e validação de terceiros
	P	Probabilístico		3P	validação de terceira parte
				N	Nenhum trabalho de validação foi encontrado em relação ao modelo

Quadro 6: Principais características dos modelos de abandono

Disponibilidade do modelo	Se o modelo é acessível para uso. Existem modelos que são disponibilizados gratuitamente e outros que são pagos. Existem os modelos que são de uso exclusivo de empresas e não estão disponíveis e outros que ainda não foram lançados.
Método de modelagem	<p>Descreve o método de modelagem que cada modelo utiliza para calcular os tempos de evacuação dos edifícios. Podendo ser:</p> <p>Modelos comportamentais: aqueles que incorporam as ações dos ocupantes além do movimento. Podem incorporar tomadas de decisões devido as condições ambientais.</p> <p>Modelos de movimento: os modelos em que os ocupantes se movem rumo a uma saída ou lugar seguro sem considerar o comportamento humano.</p> <p>Modelos de comportamento parcial: os modelos que calculam principalmente o movimento dos ocupantes, mas começam a simular comportamentos.</p>
Propósito	Essa subcategoria descreve se o modelo é específico para determinados tipos de edificações ou se podem ser utilizados para vários tipos.
Estrutura/malha	<p>Trata-se do método utilizado para avaliar o deslocamento das pessoas dentro do edifício. São classificados em três grupos:</p> <p>Malha fina: dividem a planta em pequenas malhas e as células medem frequentemente 0,50 x 0,50 m.</p> <p>Malha grossa: dividem a planta em ambientes, ou seja: salas, corredores, escadas etc. São modelos com nível de precisão inferior ao de malha fina.</p> <p>Malha contínua: Utiliza um plano contínuo, permitindo que o ocupante caminhe em todos os locais do edifício sem que esteja vinculado às células específicas. Permite a inserção de obstáculos e barreira que podem influenciar na escolha do caminho.</p>
Perspectiva do modelo	<p>É subdividida em duas categorias, ou seja, como o modelo vê o ocupante e como o ocupante vê o modelo.</p> <p>O modelo pode ver o ocupante globalmente ou de forma individualizada.</p> <p>Quando tem uma visão global, entende como um grupo homogêneo e não como único. Já na perspectiva individual, rastreia o movimento de cada indivíduo ao longo da simulação.</p> <p>O ocupante pode ver o edifício de um modo global (G) ou individual (I).</p> <p>O ocupante pode ver o edifício de uma forma global (G) ou individual (I)</p> <p>Na perspectiva global os ocupantes conhecem automaticamente o melhor caminho de saída e parecem ter uma visão do edifício. A abordagem global é mais adequada para edifícios em que os ocupantes conhecem bem e usam regularmente todos os diferentes caminhos de saída do edifício.</p> <p>Na perspectiva individual, o ocupante não conhece todas as saídas do edifício e decide suas rotas conforme os critérios definidos pelo usuário do modelo.</p>
Comportamento	<p>O comportamento dos ocupantes é representado de diversas maneiras pelos modelos, sendo essas:</p> <p>Nenhum comportamento (N): apenas o aspecto de movimento dos ocupantes durante a evacuação é simulado.</p> <p>Comportamento implícito (I): tentam simular o comportamento implicitamente, atribuindo certos atrasos de resposta ou características do ocupante que afetam o movimento durante a evacuação.</p> <p>Comportamento condicional (C): atribuem ações a uma pessoa ou grupo de ocupantes com base nas condições locais, por exemplo, condições estruturais ou ambientais durante a evacuação.</p> <p>Inteligência Artificial (IA): se assemelha aos modelos que tentam simular a inteligência humana ao longo da evacuação.</p> <p>Probabilístico (P): Representa que vários modelos são estocásticos, permitindo variações no resultado por meio da repetição das simulações.</p> <p>Muitos dos modelos comportamentais parciais permitem uma distribuição probabilística (P) dos tempos de pré-evacuação, velocidades de deslocamento e / ou suscetibilidade à fumaça.</p>

Fonte: Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010). Traduzida e adaptada pelo autor.

Principais características dos modelos de abandono (continuação).

CAD	A subcategoria CAD identifica se o modelo permite ao usuário importar arquivos do programa CAD (Computer-Aided Design) ou de outros programas.
Movimento dos ocupantes	<p>Aborda a maneira que os modelos movem ocupantes durante a simulação com base no algoritmo subjacente. Para a maioria dos modelos, os ocupantes recebem uma velocidade específica desimpedida (baixa densidade) pelo usuário ou pelo programa de modelagem. As diferentes formas de representar o movimento dos ocupantes e o fluxo são listados abaixo:</p> <p>Correlação de densidade (D): O modelo atribui velocidade e fluxo a indivíduos ou populações com base na densidade do espaço.</p> <p>Escolha do usuário (UC): o usuário atribui valores de velocidade, fluxo e densidade a determinados espaços do edifício.</p> <p>Distância interpessoal (ID): Cada indivíduo é rodeado por uma "bolha" de 360 ° que exige que eles tenham uma certa distância dos outros ocupantes, obstáculos e componentes do edifício (paredes, cantos, corrimãos, etc.).</p> <p>Potencial (P): Cada célula da malha recebe um determinado valor numérico, ou potencial. Os ocupantes seguem um mapa potencial e tentam reduzir seu potencial a cada passo ou célula da grade para a qual caminham.</p> <p>Próxima célula da malha (E): Em alguns modelos, o ocupante não se moverá para uma célula que já esteja ocupada por outro ocupante. O ocupante aguardará até que a próxima célula esteja vazia.</p> <p>Condicionais (C): Nos modelos condicionais, o movimento depende das condições do ambiente, do edifício, dos outros ocupantes e / ou da situação de incêndio.</p> <p>Adquirindo conhecimento (Ac_K): O movimento é baseado unicamente no conhecimento adquirido durante a evacuação. Não há algoritmo de movimento real porque o tempo de evacuação não é calculado; apenas áreas de congestionamento, gargalos, etc.</p> <p>Fluxo desimpedido (Un_F): Apenas o movimento desimpedido dos ocupantes é calculado. A partir do tempo de evacuação calculado, atrasos e tempos de melhoria são adicionados ou subtraídos para produzir um resultado final de tempo de evacuação.</p> <p>Autômato celular (CA): Os ocupantes, nesse modelo, movem-se de uma célula para outra mantendo as relações definidas pelo modelador.</p>
Dados de incêndio	<p>A subcategoria de dados de incêndio esclarece se o modelo permite ao usuário incorporar os efeitos do incêndio na simulação de evacuação.</p> <p>Alguns modelos permitem a importação de dados/resultados de outros modelos (Y1); outros permitem que o usuário insira dados de incêndio durante a evacuação (Y2); ou o modelo pode ter seu próprio modelo de incêndio que pode ser executado simultaneamente com o modelo de evacuação (Y3).</p> <p>Se o modelo não incorpora dados de incêndio, ele simplesmente executará todas as simulações no modo "drill" ou sem incêndio (N).</p>
Visualização pelo usuário	Identifica se o modelo permite ao usuário visualizar a saída dos usuários durante a simulação e se há, por exemplo, pontos de congestionamento. Muitos permitem visualização em 2-D, alguns em 3-D e outros não permitem visualização.
Validação	Os modelos também foram categorizados pelo seu método de validação, sendo esses: perante as exigências das regulamentações, com exercícios de incêndio ou outras experiências / testes de movimentação de pessoas, validação perante a literatura sobre experimentos anteriores de evacuação (taxas de fluxo, etc.), comparação com outros modelos e validação de terceiros.

Fonte: Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010). Traduzida e adaptada pelo autor.

Com o objetivo de avaliar as experiências e as necessidades dos usuários de modelos de abandono, Ronchi e Kinsei (2011) realizaram pesquisa online. A pesquisa foi disponibilizada em 6 idiomas: inglês, alemão, chinês, espanhol, italiano e russo. No total, 198 participantes de 36 países completaram total ou parcialmente a pesquisa.

Os participantes foram questionados sobre os modelos que conheciam (N = 191). A maioria tinha conhecimento do EXODUS (66,5%), FDS + Evac (58,1%) e Simulex (57,6%), com pouco menos da metade também conhecendo STEPS (45,5%) e Pathfinder (40,8%). Os participantes também responderam sobre os modelos que utilizavam, Gráfico 6.

Fonte: Adaptado de Ronchi e Kinsei (2011).

Quase dois terços dos participantes (64,0%) responderam que utilizavam os modelos para simular evacuação e pouco mais de um terço (35,8%) usava os modelos para pesquisas e testes. Com relação ao fator mais importante para a escolha do modelo, 93% declararam ser a sua validação, seguido pelo atributo “saída dos dados” e “documentação informando como o modelo trabalha”.

Embora parte dos modelos existentes possam ser utilizados para outras finalidades que não seja a simulação de abandono, tais como o movimento de pessoas em estações de trem, cruzamento de pessoas em áreas com grande fluxo, filas em pontos de informações etc, mais da metade dos participantes utilizam para simular evacuação. Com relação aos fatores importantes na escolha do modelo, o autor conclui que os resultados ressaltam a preocupação do usuário quanto a confiança em relação a precisão dos resultados. Por fim, sugerem que os desenvolvedores de modelos deem maior transparência quanto aos algoritmos e os dados incorporados nos modelos.

Ambas as pesquisas apresentadas tiveram como foco o usuário de modelos. Na primeira realizada por Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010), o foco foi descrever as características dos modelos e fornecer subsídios para possíveis usuários, enquanto a segunda desenvolvida por Ronchi e Kinsei (2011), estava focada em conhecer o perfil dos usuários e suas necessidades.

2.5 MÉTODOS DE COLETA DE DADOS DE VELOCIDADE EM ESCADAS

Segundo Hoskins (2011) vários estudos apresentam dados relativos à velocidade de pessoas em escadas. No entanto, embora o componente “tempo” seja relativamente consistente, a “distância de caminhada” não é. Quando os autores descrevem como eles calcularam a velocidade, constata-se que diferentes métodos foram utilizados.

Em percursos de pequena distância, como é o caso dos patamares, a metodologia para coleta dos tempos é de extrema importância, pois uma fração de segundos pode alterar significativamente a velocidade final. Em uma escada com largura de 1,55 m, cujo percurso no patamar foi de 2,94 m, percorrido em 3,41s, a velocidade será de 0,86 m/s. Contudo, se o tempo for reduzido para 3,21s, sua velocidade sobe para 0,92 m/s. Portanto, o critério para definição dos pontos de medição dos tempos tem significativa importância.

Neste capítulo são apresentados os diferentes métodos para coleta de velocidade em escadas adotados em pesquisas relevantes publicadas nas últimas duas décadas.

2.6 NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – NIST

Kuligowski et al. (2015) realizaram 14 simulados de abandono em edifícios residenciais e de escritórios, nos Estados Unidos, entre os anos de 2005 a 2011. Os edifícios envolvidos nesses experimentos variavam entre 6 e 62 pavimentos de altura.

O estudo teve como foco coletar dados referentes ao movimento de evacuação de pessoas em escadas em simulados de abandono, obter uma melhor compreensão das características das rotas de saída de edifícios e desenvolver uma base técnica

para os códigos e normas, bem como para técnicas de modelagem de saídas de emergência. Para tanto, câmeras de vídeo foram utilizadas para coletar dados de movimento dos participantes dos simulados nas escadas.

2.6.1 Gravações e dados dos ocupantes

No estudo de Kuligowski et al. (2015), as câmeras foram instaladas nas caixas das escadas para gravar uma vista superior do movimento dos ocupantes durante simulados de abandono. Na maioria dos casos, as câmeras de vídeo foram colocadas em pisos específicos para se ter uma visão da porta e do patamar de acesso à escada. As câmeras foram posicionadas de modo a evitar a identificação dos participantes.

Câmeras de vídeo foram instaladas em pisos alternados (um piso sim e no outro não), exceto para o edifício que tinha 62 pisos, pois neste caso, a quantidade de câmeras disponíveis não era suficiente. A Figura 8 mostra um exemplo da vista de uma câmera em um dos edifícios.

Figura 8: Vista da câmera mostrando um patamar típico

Fonte: Kuligowski. et al. (2015)

Para cada escada filmada, foram coletados: 1) dados de cada pessoa que participou do simulado naquela escada e 2) os tempos durante o simulado de abandono em que a pessoa foi vista em cada piso específico da escada, entrando e saindo da visão de cada câmera. Um total de 22.277 medições individuais foram realizadas para 5.249 pessoas em 30 escadas.

Os dados coletados foram:

- O momento em que a pessoa foi vista entrando na visão de cada câmera e o

ponto onde esse tempo foi tomado. Para as pessoas provenientes dos andares superiores, demarcou-se uma linha em um degrau específico (exemplo, três degraus em direção ao patamar principal), para marcar o tempo. Para as pessoas que adentravam provenientes do próprio andar, uma linha foi demarcada na soleira da porta ou na borda do patamar que leva para a próximo lance de escada descendente.

- O momento em que a pessoa foi vista deixando a visão da câmera – ponto de saída. Demarcou-se uma linha em um degrau específico no lance de escada descendente (exemplo, três degraus a partir do patamar principal no lance descendente).
- Localização da pessoa na escada, ou seja: se a pessoa caminhou do lado esquerdo ou do lado direito ou no meio da escada.
- Se a pessoa utilizou o corrimão. Isto inclui se a pessoa utilizou o corrimão do lado esquerdo, do lado direito ou ambos ao mesmo tempo. A equipe do NIST definiu que a pessoa utilizou o corrimão se, em qualquer momento, tocou sua mão nele.

Adicionalmente, foram coletados os seguintes dados para cada ocupante:

- Sexo: a pessoa foi classificada como sendo do sexo masculino, feminino ou desconhecido;
- Pavimento de origem/distância de caminhada: foi registrado como o número de andares percorridos desde que o ocupante foi visto pela primeira vez na filmagem;
- Se a pessoa estava carregando alguma coisa;
- Tamanho do corpo da pessoa. Os dados incluem: a) se a pessoa ocupou menos que a metade da largura da escada ou b) mais do que a metade da largura da escada.
- Se a pessoa estava em um grupo durante qualquer momento durante a

simulação (sim ou não);

- Se a pessoa estava ajudando alguém em qualquer momento do simulado (sim ou não);
- Se a pessoa estava caminhando no contra o fluxo;

2.6.2 Dados da geometria das escadas

O principal dado coletado neste estudo foi o tempo de passagem das pessoas nos diferentes pisos do edifício ao descerem a escada durante o simulado de abandono. Coletou-se, ainda, em todos os edifícios, dados dimensionais: a geometria da escada, incluindo a distância de caminhada nas escadas e patamares, largura das escadas, comprimento e altura dos degraus e as dimensões do patamar. Estes dados foram utilizados para o cálculo da velocidade, da densidade e do fluxo. A Figura 9 ilustra a distância de caminhada dentro da escada.

Para o cálculo das distâncias de caminhada nos patamares, utilizou-se a (Equação 3, visto que Templer (1992 apud Kuligowski. et al. 2015) constatou que nos patamares os trajetos não eram lineares, mas sim em arcos.

$$L_i = \pi \frac{w_i}{2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde L_i é a distância de caminhada no patamar i e w_i é a largura da escada específica.

Figura 9: Visão geral da câmera e distância de caminhada calculada

Figure 4. Overview of camera view and landing / stair travel distance during stair evacuation observations.

Fonte: Kuligowski et al. (2015).

2.6.3 Cronometragem do movimento das pessoas

As câmeras de vídeo foram instaladas isoladamente, ou seja, não havia uma central de monitoramento que possibilitasse observar todas as imagens das câmeras em tempo real. Para permitir as comparações e os cálculos, os tempos foram convertidos em tempo relativo tendo-se por referência o sinal sonoro do sistema de alarme de incêndio que deu início aos simulados.

2.6.4 Tempo de caminhada

Os tempos de caminhada foram definidos como o tempo decorrido entre os pontos observados nas câmeras.

Considerou-se como o tempo inicial para todos os ocupantes o momento em que deixaram de serem vistos pela câmera do andar mais elevado. Assim, para as pessoas que entraram na escada nos andares onde não havia câmeras, houve algum

período de tempo não capturado. O tempo de percurso total em uma escada foi considerado como sendo a diferença entre o tempo em que a pessoa foi vista na câmera pela primeira vez e o tempo em que a pessoa deixou a escada no andar mais baixo provido de câmera. Para o cálculo das velocidades parciais, considerou-se o intervalo de tempo entre os pisos onde estavam instaladas as sucessivas câmeras para calcular o tempo de caminhada.

2.6.5 Velocidade de caminhada

A velocidade geral do movimento para cada pessoa foi determinada a partir da distância percorrida, dividida pela diferença entre o tempo de entrada e de saída. Para as velocidades médias e as incertezas associadas a ela, os valores médios foram calculados usando-se uma média harmônica⁶ ao invés de uma média aritmética simples.

As velocidades locais normalmente representam as velocidades das pessoas entre os pontos definidos nas sucessivas imagens obtidas pelas câmeras. Nas escadas onde as câmeras foram instaladas em todos os andares, a distância entre os pontos inclui dois lances de escada e dois patamares. Nas escadas onde as câmeras não foram instaladas em todos os andares, a distância foi maior. As velocidades foram calculadas dividindo-se a distância entre dois pontos nas escadas pelo tempo para seu percurso.

2.7 UNIVERSIDADE TÉCNICA DA DINAMARCA

Os experimentos realizados por Lárusdóttir (2013) foram desenvolvidos no departamento de Engenharia Civil da Universidade Técnica da Dinamarca entre os anos de 2009 a 2011. O primeiro período do experimento foi realizado em creches cuja população era de crianças com idade entre 0 e 6 anos. O segundo período abrange crianças com idade entre 6 e 15 anos. Nas escadas, considerou-se como distância percorrida a medida diagonal em corte do lance da escada. Os patamares

⁶ Média harmônica é definida como o número de membros dividido pela soma do inverso dos membros.

não foram considerados no cálculo da velocidade, portanto, as medições foram realizadas somente nos lances das escadas. O caminho percorrido nas escadas foi padronizado, visto que as crianças caminharam em fila. Na Figura 10 é possível verificar o critério utilizado para definição da distância de caminhada na escada.

Figura 10: Definição de distância de caminhada, altura e largura do degrau e ângulo da escada.

Fonte: Lárusdóttir (2013). Adaptado pelo autor.

Os dados foram coletados por meio de filmagens. As câmeras de vídeo funcionavam de forma independente, pois não havia uma central de monitoramento onde todas as gravações pudessem ser visualizadas simultaneamente.

Na frente das portas e nos patamares das escadas, foram colocados tapetes com um padrão de xadrez (preto e branco) com área de 1m² para medir a densidade populacional.

No total foram coletados 3.645 dados de velocidade / densidade. Os dados foram agrupados em doze categorias: 0-2 anos (grupo 1) e 3-6 anos (grupo 2) em creches e para as demais turmas, até quinze anos, cada idade formava um grupo. Participaram dos experimentos 667 crianças com idade entre 6 e 15 anos. A quantidade de crianças até 6 anos não é informada no trabalho, a autora informa somente a quantidade de trechos de velocidade coletados.

2.8 UNIVERSITY OF MARYLAND - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS

Blair (2010), em sua dissertação de mestrado, analisou o efeito da largura da escada sobre a velocidade e fluxo dos ocupantes em edifícios altos. A amostra analisada foi composta por quatro edifícios, localizados nos Estados Unidos, cujos dados foram

coletados pela equipe do *National Institute for Standard and Tecnology* (NIST) no ano de 2008.

Os edifícios analisados neste trabalho são parte da amostra que foi coletada pelo NIST para a elaboração do relatório denominado “*Movement on Stair During Buildings Evacuation*” (KULIGOWSKI et al., 2015). Embora a fonte de dados tenha sido a mesma, o percurso considerado por Blair nos patamares não foi o mesmo. Enquanto no relatório do NIST os trajetos foram assumidos como sendo em arco, Blair adotou percursos retilíneos.

2.8.1 Gravações e dados dos ocupantes

Assim como no relatório do NIST (KULIGOWSKI et al., 2015), o tempo de abandono teve como tempo inicial o som do acionamento do sistema de alarme de incêndio. Os vídeos foram analisados e os dados de cada pessoa que desceu a escada foram coletados. Cada ocupante recebeu um número na medida em que descia a escada.

Após todos os ocupantes receberem uma numeração e terem seus tempos de saída registrados, eles foram rastreados e os tempos em que eles entraram ou saíram da escada em todos os andares acima do ponto de saída final foram registrados. Na Figura 11, pode-se observar a sequência do procedimento de coleta dos dados.

Figura 11: Linha do tempo dos simulados de abandono analisados

Fonte: Blair (2010 p. 23). Adaptado e traduzido pelo autor.

Para as pessoas proveniente dos pisos superiores, seu tempo de “entrada” foi marcado quando o seu pé cruzou o plano indicado pela linha verde, mostrado na Figura 12. Se o ocupante entrou na escada naquele andar em particular, seu tempo de entrada foi considerado quando seu pé cruzou o plano mostrado pela linha amarela. O ponto de saída para os ocupantes provenientes dos andares superiores ou do andar em particular foi o mesmo. Esse ponto pode observado como sendo a linha vermelha.

Figura 12: identificação dos pontos de entrada e saída na escada

Fonte: Fonte: Blair (2010). Adaptado pelo autor.

2.8.2 Dados da geometria das escadas

As distâncias percorridas foram consideradas utilizando-se as informações de cada escada bem como nas pesquisas de Predtechenskii e Milinskii (1978) que definem um método para dimensionamento dos percursos no patamar e no lance. Por exemplo, em um dos edifícios estudados, os degraus mediam 0,18 m de altura (espelho) e 0,28 m de piso. Usando esses valores, a distância percorrida para cada lance da escada foi determinada utilizando-se o Teorema de Pitágoras, onde a hipotenusa calculada de cada degrau era de 0,33 m.

A distância total percorrida em um lance de escada foi calculada multiplicando-se a hipotenusa pelo número de degraus de cada lance da escada. O percurso total entre andares foi encontrado utilizando-se a fórmula desenvolvida por Predtechenskii e Milinskii (1978), que calcula o comprimento médio percorrido entre dois pavimentos, composto de dois lances da escada mais o patamar entre eles, a saber:

$$L_1 = \frac{L'}{\cos \alpha} \quad (\text{Equação 4});$$

Onde α é o ângulo de inclinação da escada e L' é o comprimento horizontal da escada.

Os mesmos autores também desenvolveram uma correlação entre comprimento médio para dois lances de escada (ver (Equação 5));

$$L = \frac{2L'}{\cos \alpha} + 4b \quad (\text{Equação 5});$$

Onde L' é o comprimento horizontal da escada e b é a largura livre medida na escada.

Na Figura 13 pode-se observar o comprimento médio horizontal.

Rearranjando a (Equação 4);, temos: $L' = L \cos \alpha$ e substituindo na (Equação 5);, o comprimento dos dois lances de escada pode ser definido como:

$$L = 2L_1 + 4b \quad (\text{Equação 6});$$

Onde L_1 é o comprimento da escada calculada usando-se o teorema de Pitágoras e L pode ser encontrado utilizando-se a (Equação 6);.

Figura 13: Comprimento para dois lances de escada estimado por Predtechenskii e Milinskii

Fonte: Blair (2010 p. 29).

2.9 CUESTA E GWYNNE

Os experimentos descritos por Cuesta e Gwynne (2016) foram desenvolvidos na Espanha entre os anos de 2011 e 2014. Os dados foram coletados durante cinco simulados de abandono realizados na mesma escola. Destes simulados, 4 foram realizados sem aviso prévio enquanto um foi anunciado apenas aos funcionários. Crianças com idade entre 4 e 16 anos participaram dos simulados. A Tabela 13 apresenta a data dos simulados e a respectiva população participante.

Tabela 13: Informações básicas relativa aos simulados

Simulado de abandono	Data	Natureza do simulado	Nº de participantes
S1	14/12/2011	Semi avisado	310
S2	04/05/2012	Sem aviso prévio	271
S3	22/12/2012	Sem aviso prévio	293
S4	04/06/2013	Sem aviso prévio	288
S5	07/05/2014	Sem aviso prévio	308

Fonte: Cuesta e Gwynne (2016, p. 27), tradução nossa.

O edifício era composto por dois blocos: o principal que contava com quatro pavimentos e duas escadas com larguras de 1,23 m e 1,20 m, e o secundário, composto por dois pavimentos e uma escada com largura de 1,58 m.

Foram coletados os seguintes dados:

- A localização inicial dos alunos e professores;
- Tempos de pré-evacuação da maioria das classes envolvidas;
- Velocidades de caminamento;
- As rotas utilizadas;
- Os tempos de chegada em cada saída.

2.9.1 Gravações e dados dos ocupantes

Oito câmeras foram utilizadas para filmar o movimento dos estudantes nas escadas e nas saídas do edifício. Adicionalmente, três câmeras foram instaladas nas áreas comuns que antecediam as escadas para gravar o movimento e o comportamento das crianças no edifício principal.

As câmeras autônomas foram instaladas e ativadas 30 min após o início das aulas, uma a uma, portanto, não havia uma central de monitoramento onde todas as gravações pudessem ser visualizadas simultaneamente.

Os dados foram coletados conforme um “dicionário comportamental” estabelecido a priori. A chegada até um local para a coleta dos tempos, por exemplo, foi definida quando todas as partes do corpo de um indivíduo tivessem atravessado um determinado plano. Diferente do critério utilizado pelo NIST, já citado, que adotou como parâmetro a entrada no campo visual da câmera.

2.9.2 Velocidade de caminhada

A velocidade de caminhada foi estabelecida como o quociente entre uma distância pré-determinada em cada lance de escada e o tempo tomado para cada pessoa cobrir essa distância (Ver Figura 14). A velocidade para cada pessoa (v_i) foi calculada de acordo com a equação descrita abaixo:

$$v_i = \frac{d}{(F_{Bi} - F_{Ai}) * 1/Fr} \quad (\text{Equação 7});$$

- d – Distância pré-determinada entre o Ponto de referência 1 e o Ponto de referência 2 (em metros, medido diretamente no cenário dos experimentos);
- F_{Ai} – o “frame” quando o corpo do indivíduo atravessa a referência no Ponto 1;
- F_{Bi} – o “frame” quando o corpo do indivíduo atravessa a referência no Ponto 2;
- Fr – a taxa de “frame” (frames/s).

Figura 14: Distância percorrida nas escadas

Fonte: Cuesta e Gwynee (2016 p. 29).

As distâncias percorridas nos patamares também foram medidas. Foram consideradas três trajetórias-padrão com base nas observações das filmagens e, para cada indivíduo, a trajetória foi ajustada à mais próxima de uma daquelas padronizadas. A Figura 15 mostra uma representação esquemática das trajetórias-padrão e as fórmulas utilizadas para medir as distâncias percorridas nos patamares em função dessas trajetórias.

Figura 15: Distância percorrida nos patamares

Fonte: Cuesta e Gwynee (2016 p. 29).

3 PROCEDIMENTOS PARA PESQUISA DE CAMPO

Este capítulo tem por objetivo apresentar, detalhadamente, os procedimentos adotados na fase de planejamento das atividades de campo, a fase de pré-teste que foi realizada em duas escolas privadas, nesse trabalho denominadas como X e Y e, ao final, a fase de coleta de dados que foi realizada em três escolas, aqui denominadas como A, B e C.

3.1 PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE CAMPO E MÉTODO PARA COLETA DE DADOS

Antes de iniciarmos as atividades de campo realizou-se a pesquisa bibliográfica com o objetivo, dentre outros, de identificar as técnicas de coleta de dados utilizadas por outros pesquisadores para registrar a velocidade e o comportamento das pessoas em escadas.

Dentre as técnicas utilizadas, a coleta das imagens por meio filmagens foi a mais utilizada. Lárusdóttir (2013) utilizou para coletar os dados de crianças na Dinamarca, Cuesta e Gwynne (2015) de crianças na Espanha e Kuligowski et al. (2015) de adultos no EUA.

Com o objetivo de aprimorar o método de coleta, os trabalhos acima foram analisados a fim de identificar os critérios adotados para a definição dos pontos de medição dos tempos dos alunos nos lances das escadas, os trajetos percorridos nos patamares, o nível de precisão dos tempos coletados (se em segundos ou centésimos de segundos), além de outros dados que foram coletados.

Na sequência, serão apresentados os critérios adotados para a escolha dos edifícios e a técnica utilizada para a coleta dos dados de campo.

3.1.1 Seleção dos edifícios

Na fase de seleção dos edifícios para a realização das coletas dos dados, procurou-se eleger escolas cuja edificação tivesse mais que três pavimentos (térreo mais dois pavimentos), oferecessem ensino para alunos do fundamental I (1º ao 5º ano) e estivessem localizados na cidade de São Paulo.

3.1.2 Contato com a direção das escolas

No início do ano de 2016 iniciaram-se as tratativas com a direção de duas instituições de ensino privada selecionadas e que foram utilizadas para a etapa de pré-teste da pesquisa, aqui denominadas Escola X e Y. Inicialmente apresentou-se o projeto de pesquisa, bem como os dados que seriam coletados, além de informar que para realização da pesquisa, seria necessário a instalação um sistema de CFTV para filmar os simulados de abandono e, posteriormente, coletar os tempos dos alunos nos lances das escadas bem como o trajeto percorrido por cada um deles nas escadas e nos patamares.

Este procedimento foi repetido para as outras três escolas selecionadas para a coleta de dados definitiva.

3.1.3 Elaboração dos procedimentos para coleta de dados;

Foi definido que na fase de pré-teste seria utilizado o sistema de CFTV para a coleta das imagens durante os simulados de abandono. Para que fosse possível identificar a turma que o aluno pertencia durante a análise dos vídeos, foi distribuído para cada aluno de cada uma das turmas coletores coloridos. Esse critério já havia sido adotado por Ono (2011).

3.1.3.1 Método para coleta dos tempos e comportamentos nos lances das escadas

Com relação à coleta dos tempos em que os alunos passaram nos trechos predefinidos e, tendo-se em vista os diversos critérios adotados por inúmeros autores

(KLÜPFEL; KÖNIG; SCHRECKENBERG, 2003; LÁRUSDÓTTIR, 2013; CUESTA; GWYNNE, 2016; KULIGOWSKI et al. 2015), nem sempre explícitas em detalhes, nesse trabalho pretendeu-se definir, de forma clara, os critérios adotados para a coleta dos tempos dos alunos nos trechos das escadas.

Para os trechos percorridos nos lances, considerou-se a distância (hipotenusa) entre o primeiro e o último degrau de cada lance. O comprimento de todos os lances foi coletado no local. Na Figura 16 é possível observar em corte a distância considerada para a obtenção da velocidade de cada aluno. Considerou-se como o primeiro tempo coletado no lance o momento que o pé do aluno cruzou a quina do primeiro degrau. Para o último degrau do lance o procedimento foi o mesmo (Ver Figura 17).

Figura 16: Critério para coleta dos tempos no lance das escadas

Fonte: Produzido pelo autor, 2017.

Figura 17: Momento em que os tempos foram coletados

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Para facilitar a coleta dos tempos, instalou-se uma fita adesiva amarela no primeiro e no último degrau de cada um dos lances das escadas utilizadas nos experimentos (Ver Figura 18). O objetivo das fitas amarelas foi aumentar o contraste em relação a cor do piso das escadas e facilitar a coleta dos tempos e o percurso nos patamares. Esse procedimento para coleta dos tempos nos lances de cada uma das escadas e para cada um dos alunos foi utilizado em toda pesquisa.

Figura 18: Vista a partir da câmera de CFTV das fitas adesivas

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Para facilitar a compreensão do trajeto percorrido pelos alunos nos lances e patamares das escadas, ver Figura 19.

Figura 19: Exemplo de trajeto percorrido pelos alunos na escada

Fonte: Produzido pelo autor, 2018.

3.1.3.2 Método para coleta dos percursos nos patamares

Com base nos métodos apresentados no capítulo anterior e com o objetivo de aumentar a precisão das distâncias percorridas pelos alunos nos patamares, nessa pesquisa, inicialmente, optamos por considerar nove possibilidades de percursos nos patamares.

3.1.4 Obtenção de plantas dos edifícios e análise dos pontos para instalação dos equipamentos

Tendo-se em vista que as plantas fornecidas pelas escolas estavam desatualizadas, realizou-se o levantamento cadastral das duas escolas e, de forma mais criteriosa, das escadas e dos patamares. Nas escadas, foram obtidas as seguintes medidas: a largura e a profundidade dos degraus, a distância dos lances, as larguras das escadas e dos patamares, a largura da parede ou guarda corpo entre os lances.

4 PESQUISA DE CAMPO

4.1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA NAS ESCOLAS SELECIONADAS – PRÉ-TESTE

Após as tratativas com a direção das escolas, a equipe de pesquisa se reuniu com os professores e demais funcionários com o intuito de informá-los sobre o propósito da pesquisa e dirimir possíveis dúvidas. A equipe também visitou todas as salas de aula para informar os alunos sobre os procedimentos a serem seguidos durante a pesquisa. Os alunos foram instruídos a descer a escada andando normalmente durante todo o trajeto e que comportamentos como o de correr, parar ou pular degraus, dentre outros, não contribuiriam para a pesquisa.

4.2 CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS DAS ESCOLAS X E Y

A seguir são descritas as características das duas escolas que foram selecionados para a fase de pré-teste.

4.2.1 Escola X

Localizado no bairro de Vila Bela, cidade de São Paulo, trata-se de uma escola privada que oferece ensino para a educação infantil, fundamental e médio. Iniciou suas atividades no ano de 1956 e, no transcorrer do tempo, foi acolhendo novos alunos e, paralelamente, ampliando suas instalações. A partir do ano de 2000 passou por uma grande reforma e ampliação de suas instalações. No ano de 2005 foi implantado o ensino médio e em 2012 passou a receber alunos para o período integral.

O edifício principal possui quatro pavimentos, sendo que o denominado térreo inferior abriga a cantina e o pátio para recreio dos alunos. Os demais pavimentos são predominantemente utilizados como salas de aula e laboratórios, com exceção do pavimento térreo que abriga a administração, biblioteca e áreas de apoio. Contíguo

ao edifício principal encontra-se o anexo, ocupado pela educação infantil. O complexo também incorpora duas quadras poliesportivas cobertas.

Com relação aos meios de escape, o edifício principal conta com duas escadas, uma aberta e outra enclausurada. A escada aberta é a mais utilizada no dia-a-dia embora não exista restrições para o uso da enclausurada.

A seguir são apresentadas, na Tabela 14, as principais características do edifício que interessam a esta pesquisa.

Tabela 14: Características do Escola X

Área total construída do complexo	6.851,00 m ²
Ano de construção	1956 ¹
Número de salas de aula/laboratórios:	
2º pavimento	8
1º pavimento	9
Térreo	6
Largura “bruta” de cada escada aberta (EA)	1,60 m
Largura “bruta” de cada escada enclausurada (EE)	1,15
Largura do corredor contíguo às salas de aula	Variável, entre 1,20 e 1,80 m
Altura da edificação ²	11,65 m
Dimensões dos degraus	16 x 27 cm – EA 18,5 x 30 cm - EE
Inclinação da escada	31° - EA 32 ° - EE
Tipo de piso na escada	granilite

¹ – O edifício sofreu sucessivas transformações ao longo dos anos. A última grande reforma foi realizada em meados do ano 2000.

² – “Medida em metros entre o ponto que caracteriza a saída ao nível de descarga, sobre a projeção do paramento externo da parede da edificação ao piso do último pavimento, excluindo-se áticos, casa de máquinas, barrilete, reservatório de água e assemelhados” (IT nº 03/2011 do DE 56.819/2011).

4.2.2 Escola Y

Localizado no bairro de Vila Prudente, cidade de São Paulo, trata-se de uma escola privada que oferece ensino para a educação infantil, fundamental e médio. Iniciou suas atividades no ano de 1968 voltada para a educação de crianças com idade entre 3 e 6 anos. No ano de 1972, aproximadamente, adquiriu o edifício onde atualmente funciona a escola e, desde então, em função da demanda de alunos, passou por

sucessivas ampliações.

O edifício principal possui cinco pavimentos, sendo que o térreo abriga a administração e salas de aula. Os demais pavimentos são predominantemente utilizados como salas de aula. Contíguo ao edifício principal encontra-se o anexo, ocupado pela educação infantil. O complexo também incorpora duas quadras poliesportivas cobertas, o prédio do auditório, além da piscina coberta.

Com relação aos meios de escape, o edifício principal conta com duas escadas, uma aberta e outra enclausurada. Somente a escada aberta é utilizada no dia-a-dia.

A seguir são apresentadas na Tabela 15, as principais características do edifício que interessam a esta pesquisa.

Tabela 15: Características do Escola Y

Área total construída do complexo	Aproximadamente 10.000 m ²
Ano de construção	1972
Número de salas de aula/laboratórios:	
4º pavimento	3
2º e 3º pavimentos	7
1º pavimento	5
Térreo	6
Largura “bruta” de cada escada aberta (EA)	2,00 m
Largura “bruta” de cada escada enclausurada (EE)	1,50 m
Largura do corredor contíguo às salas de aula	Variável, entre 2,00m e 2,50 m
Altura da edificação ¹	13,40 m
Dimensões dos degraus	17 x 26 cm – EA 17 x 30 cm - EE
Inclinação da escada	33º - EA 29,5º - EE
Tipo de piso na escada	Borracha - EA Cimentado - EE

¹ – “Medida em metros entre o ponto que caracteriza a saída ao nível de descarga, sobre a projeção do paramento externo da parede da edificação ao piso do último pavimento, excluindo-se áticos, casa de máquinas, barrilete, reservatório de água e assemelhados” (IT nº 03/2011 do DE 56.819/2011).

4.3 PRÉ-TESTE

Nessa sessão serão descritos os equipamentos utilizados na fase denominada de pré-teste, a quantidade de câmeras instaladas em cada uma das escolas, as orientações que foram transmitidas aos funcionários e alunos, além dos seis simulados que foram realizados em cada uma das escolas. Ao final, serão apresentados os resultados parciais e uma análise comparativa entre os métodos para coleta dos percursos nos patamares.

4.3.1 Sistema de CFTV

Um sistema de CFTV é constituído, em sua versão mais simples, por câmeras de vídeo, meio de transmissão (cabos) e monitores para a visualização das imagens captadas em uma central.

Nessa fase da pesquisa foi utilizado um sistema de CFTV composto por 16 câmeras analógicas e um sistema composto por: placa de captura para sistemas de CFTV acoplada a um computador portátil (PC), além do software específico para gerenciar o sistema.

O sistema de CFTV instalado em ambas as escolas, assim como os coletes que foram utilizados pelos alunos, foram adquiridos com a verba concedida pela Fundação Mapfre à pesquisadora Rosaria Ono, em 2011, para a realização de pesquisa intitulada *“Instrucciones para la evacuación segura de edificios escolares destinadas a la Enseñanza Básica”* (ONO, 2011).

4.3.2 Instalação dos equipamentos

Com as plantas atualizadas, foi possível definir o posicionamento das câmeras do circuito de CFTV e onde seria instalado o equipamento que centraliza a gravação dos vídeos, além do caminhamento dos cabos que interligam as câmeras ao computador adaptado com placa de captura do sistema de CFTV.

Na Escola X, o sistema de CFTV foi instalado apenas na escada enclausurada, pois na escada aberta já existia um sistema instalado para monitorar a saída dos alunos.

As câmeras da escada aberta foram reposicionadas para que fosse possível obter imagens específicas para essa pesquisa. Na Escola Y, foi instalado todo o sistema em ambas as escadas.

No Quadro 7 apresenta-se a quantidade de câmeras que foram instaladas em cada uma das escadas das Escolas X e Y.

Quadro 7: Quantidade de câmeras instaladas nas Escolas X e Y

Escola	Escada 1	Escada 2
X	5	9 ⁷
Y	8	8

Fonte: Produzido pelo autor, 2018.

Na Figura 20 pode-se observar o PC em funcionamento com as imagens oriundas das câmeras exibidas na tela do monitor. Na Figura 21 apresenta-se a uma câmera instalada na Escola X.

Figura 20: PC com sistema de CFTV acoplado em funcionamento

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2016).

Figura 21: Câmera do CFTV instalada na Escola X

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2016).

4.3.3 Orientações sobre os simulados de abandono para direção das escolas, professores e alunos

Em ambas as escolas foram realizadas diversas reuniões com a direção e com os professores. Essas reuniões tiveram por objetivo definir a ordem de saída das turmas nos andares, qual escada seria utilizada por cada turma e definição do ponto de

⁷ Na escada 2 do Edifício X as câmeras já estavam instaladas, apenas foram ajustadas para obter melhores imagens dos alunos descendo a escada.

encontro. Considerando que nenhuma das duas escolas tinham brigadas de incêndio ativas, foi necessário definir quais funcionários fariam a “varredura” nos andares.

Foram instalados cartazes no acesso principal das escolas para que a comunidade vizinha não se assustasse com som oriundo do sistema de alarme de incêndio (Ver Figura 22).

Figura 22: Cartaz informando aos pais e a comunidade sobre os simulados

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2016).

Todos os alunos receberam uma carta com informações sobre os simulados e com a solicitação de autorização do pai ou responsável para que pudesse participar. Os alunos que não retornaram com a carta assinada pelo pai ou responsável não participaram dos simulados.

4.3.4 Aplicação do Pré-teste

Para cada uma das duas escolas participantes do pré-teste, foram realizados seis simulados de abandono de incêndio (três no período da manhã e três no período da tarde) que contou com a participação de todos os alunos (exceto os alunos que não foram autorizados a participar pelos pais ou responsáveis) e funcionários das escolas. Os dados e a experiência obtidos nessa fase serviram para aprimorar o método de coleta dos dados, ou seja: o critério para a coleta dos tempos em que os alunos passavam por trechos predefinidos, a distância percorrida nos trechos das escadas, além dos trajetos percorridos nos patamares das escadas. Foram tabulados os tempos e analisadas as filmagens de uma escada da Escola X. Os resultados obtidos

com essa fase da pesquisa foram apresentados no *12th International Symposium for Fire Safety*, em Lund, Suécia (ONO; VALENTIM, 2017).

No Quadro 8 são apresentadas as datas em que os simulados foram realizados e a quantidade de alunos que participaram dessa atividade.

Quadro 8: Datas dos simulados de abandono de incêndio realizados nas Escolas X e Y.

Simulado	Escola X			Escola Y		
	Data	Período	Quantidade de alunos ⁸	Data	Período	Quantidade de alunos
1º	25/05/2016	Matutino Vespertino	440 247	17/05/2016	Matutino Vespertino	620 110
2º	21/06/2016			18/08/2016		
3º	16/08/2016			08/11/2016		
	23/08/2016			10/11/2016		

Fonte: Produzido pelo autor, 2018.

Na Figura 23 é possível observar os alunos de ambas as escolas vestindo os coletes coloridos e participando de um dos simulados de abandono.

Figura 23: Alunos da Escola X e Y participando do simulado

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2016).

Os poucos dados relativos à velocidade de crianças existentes até o momento foram obtidos em simulados de abandono, contudo, os softwares que simulam a saída das pessoas de um edifício utilizam a velocidade de caminamento do indivíduo desimpedido, ou seja, sem a influência do grupo, conforme descrito por Korhonen

⁸ A quantidade de alunos descrita na tabela representa a somatória dos alunos matriculados por período e pode não refletir a quantidade real de alunos que participaram dos simulados de abandono, visto que os dados não foram totalmente tabulados.

(2018). Assim, nessa fase da pesquisa, concluiu-se que a obtenção de velocidades e trajetos percorridos pelos alunos sem a influência do grupo contribuiria mais para o avanço das pesquisas na área de segurança contra incêndios.

Mesmo após essa decisão, todos os simulados de abandono para as outras três escolas selecionadas, aqui denominadas como Escolas A, B e C, também foram realizados, na seguinte sequência:

- o primeiro, com aviso de data e hora do alarme;
- o segundo, com aviso somente da data;
- o terceiro, sem aviso prévio.

Os dados coletados nos simulados de abandono realizados nas Escolas A, B e C não serão objeto desta tese de doutorado, porém fazem parte de uma pesquisa mais ampla, dentro da qual esta tese se insere, com auxílio financeiro da FAPESP.

4.3.5 Resultados da análise comparativa entre os métodos de cálculo para o percurso no patamar descritos no capítulo e a nova proposta

Tendo-se em vista os diversos métodos apresentados para determinação do percurso no patamar das escadas, realizou-se uma análise comparativa entre eles, cujo objetivo foi avaliar qual a diferença entre os tipos de percurso/distância percorrida e, consequentemente, a velocidade resultante para cada um dos métodos.

Inicialmente, foram identificados os diferentes métodos de cálculo utilizados por cada autor para determinar a distância de caminhada. Blair (2010) adotou o método desenvolvido por Predtechenskii e Milinskii (1978) - vide Figura 24; a pesquisa do NIST (KULIGOWSKI et al., 2015), utilizou o método desenvolvido por Templer (1992) – vide Figura 25; e Cuesta e Gwynne (2015) desenvolveram sua própria trajetória padrão – vide Figura 26.

Figura 24: Percurso baseado no trabalho de Predtechenskii e Milinskii (1978)

$$L = \frac{2L'}{\cos \alpha} + 4b$$

$$d = 2b$$

Where:

L = Distance traveled between floor (m)

α = Angle of incline of the stair

L' = Horizontal length of the stair

b = Free width measured of the stair

d = Travel distance on landing

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Figura 25: Percurso baseado no trabalho de Templer (1992)

$$L = 2L_i + 2L'$$

Where:

L = Distance traveled between floor (m)

L_i = Travel distance on landing i

L' = Horizontal length of the stair

w_i = Stair width

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Figura 26: Baseada no trabalho de Cuesta e Gwynne (2016)

$$L = 2L' + d_{nA} + d_{nB}$$

$$d_1 = 2s + \pi \frac{1}{3} w_{ef}$$

$$d_2 = 2s + \pi \frac{2}{3} w_{ef}$$

$$d_3 = 2s + \pi w_{ef}$$

Where:

L = Distance traveled between floor (m)

d_{nA} = Travel distance on landing A

d_{nB} = Travel distance on landing B

L' = Horizontal length of the stair

w_{ef} = Stair width

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Em seguida, foram calculadas as distâncias para uma escada específica de uma escola privada, localizada na cidade de São Paulo, utilizando os diferentes métodos.

Os simulados de abandono de incêndio, cujos dados foram utilizados nessa comparação, foram realizados no ano de 2016, onde cerca de 680 alunos foram monitorados por meio de câmeras de CFTV, em um movimento descendente através de duas escadas (ver Figura 27).

Figura 27: Alunos descendo uma das escadas durante um simulado de abandono

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2016).

Os dados foram coletados e aqui são apresentados limitados ao caso de três classes, de diferentes idades (9, 11 e 13 anos), para comparar os resultados dos diferentes métodos de cálculo.

Além da análise comparativa entre os três métodos, nesta pesquisa foi realizada uma nova proposta de cálculo dos trajetos, com base na coleta de informações mais precisas sobre os mesmos. Nessa nova proposta, já previamente apresentada por Ono e Valentim (2017)⁹, considerou-se a possibilidade de nove trajetórias diferentes no patamar, apresentadas na Figura 28 e que resultam em nove diferentes distâncias de caminhada neste espaço, como pode ser visto na Tabela 16 para o estudo de caso em questão.

⁹ Na ocasião em que o pôster foi apresentado, a nova proposta contemplava nove possibilidades de percursos, porém, no decorrer da pesquisa chegou-se a vinte e sete possibilidades de percursos. Essas possibilidades serão apresentadas no capítulo que aborda a metodologia utilizada na pesquisa.

Figura 28: Nova proposta de percurso no patamar

$$L = 2 L' + d_A + d_B$$

Where:

L = Distance traveled between floor (m)

L' = Horizontal length of the stair

d = Travel distance on landing A or B (see Table 2)

w_{ef} = Stair width between handrails

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Tabela 16: Distância de caminhada no patamar (m)

II	IM	IE	MM	MI	ME	EE	EM	EI
1,12	1,40	1,67	1,99	1,70	2,26	2,85	2,57	2,29

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

As distâncias percorridas por cada aluno, para as três classes do estudo de caso, com base nos quatro diferentes métodos de cálculo da trajetória num mesmo patamar são representadas nos Gráficos 7, 8 e 9. Observa-se, que a nova proposta resulta em uma dispersão semelhante à de Cuesta e Gwynne (2015), no entanto, traz valores inferiores as desses autores e representa uma situação mais próxima da realidade.

Constatou-se que houve grande variação do trajeto percorrido pelos alunos do 4º ano. Já para os alunos do 6º ano, a variação foi quase inexistente, pois os alunos desceram a escada em fila e optaram pelo caminho mais curto no patamar (interno). Para os alunos do 8º ano, a variação foi significativa, porém não tão discrepante quanto a apresentada pelo 4º ano.

Gráfico 7: Distancia de caminhamento dos alunos do 4º ano

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Gráfico 8: Distancia de caminhamento dos alunos do 6º ano

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Gráfico 9: Distancia de caminhamento dos alunos do 8º ano

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

O intervalo de confiança de 95% para a distância média e a velocidade (distribuição t) são representados nos Gráficos 10 e 11, respectivamente.

Gráfico 10: Intervalo de confiança para a distância da velocidade média

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Gráfico 11: Intervalo de confiança para a velocidade média

Fonte: Ono; Valentim, 2017.

Ao analisarmos o intervalo de confiança para a distância percorrida constatamos que para a nova proposta os valores são inferiores se comparados aos demais. Em função do desvio padrão do método adotado por Cuesta e Gwynne ser maior que o da nova proposta, a extensão do intervalo de confiança refletiu esse padrão. Os intervalos de confiança para os métodos de Templer e Predtechenskii e Milinskii foram fixos, pois não consideram variações nos trajetos.

Os resultados observados no Gráfico 10 são refletidos nos valores das velocidades médias apresentados no Gráfico 11.

A adoção de apenas uma rota de caminhada nos patamares quando comparada a métodos mais precisos, apresenta resultados muito simplificados. Como foi observado no caso das crianças, elas podem mudar sua rota facilmente ao longo do movimento descendente das escadas. Embora Cuesta e Gwynne tenham considerado algumas variações no trajeto, constatamos que elas também são insuficientes para retratar os trajetos reais observados. Sendo assim, a nova proposta adotou nove possibilidades de percursos com o objetivo de obter dados mais precisos e próximos da realidade.

Esse experimento mostra a necessidade de ampliar a amostra da pesquisa, para que se possa obter mais informações acerca das velocidades e comportamentos de crianças de mesma idade e entre diferentes faixas etárias.

4.4 PESQUISA DE CAMPO FINAL

4.4.1 Seleção dos três edifícios

Após a fase de pré-teste, constatou-se que os dois edifícios selecionados (X e Y), apesar de atenderem aos critérios mínimos estabelecidos inicialmente na pesquisa, sofreram sucessivas ampliações no decorrer dos anos, visto que ambas as escolas iniciaram suas atividades com poucos alunos e foram se expandindo a longo do tempo. Como consequência dessas ampliações, os meios de circulação (escadas, rampas e corredores) foram construídos nas áreas remanescentes para atender a nova demanda de alunos e, também, para ficarem em conformidade com as regulamentações edilícias vigentes na cidade de São Paulo. No entanto, os meios de escape não estavam posicionados nos locais apropriados, embora estivessem em conformidade com as normas e regulamentações vigentes, mas sim onde foi possível construí-los.

Assim, partiu-se para a seleção de outros três edifícios, tendo como critério o mesmo adotado para as duas escolas selecionadas para a fase de pré-teste, mas que as escadas estivessem posicionadas em locais apropriados.

Dos três edifícios escolares selecionados, dois são municipais e o terceiro é mantido pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), portanto, todos são de ensino gratuito.

A seguir são descritas as características dos edifícios que foram selecionados para a realização da pesquisa.

4.4.1.1 Edifício A

Localizado no bairro do Ipiranga, cidade de São Paulo, trata-se de uma escola pública municipal de ensino fundamental, implantada em um complexo de edifícios que oferece além de educação, práticas esportivas e culturais. O complexo possui três edifícios e a escola de ensino fundamental ocupa metade do edifício educacional (Ver Figura 29).

Figura 29: Vista aérea do Edifício A

Fonte: GOOGLE MAPS, [201-].
Imagem adaptada pelo autor.

As salas de aulas e a maioria dos laboratórios encontram-se no 3º pavimento (Ver Figura 30). No primeiro pavimento encontram-se as áreas administrativas, cozinha, refeitório e pátio coberto. No pavimento térreo, a biblioteca e outros ambientes não utilizados pelos alunos da EMEF. Na maior parte dos períodos de aula (a escola funciona em dois períodos, manhã e tarde), os alunos permanecem no segundo pavimento.

A escola possui duas escadas localizadas em uma das extremidades do edifício, cujo patamar é comum para ambas, e que são utilizadas somente ao final das aulas para que os alunos possam deixar a escola. Há também uma escada localizada no centro do edifício que é utilizada no dia-a-dia com maior frequência por todos os usuários do edifício (EMEF/EMEI). Nessa pesquisa foi utilizada apenas uma das escadas localizada na extremidade do edifício, aqui denominada como escada A1.

Figura 30: Plantas do Edifício A

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017)

A seguir são apresentadas na Tabela 17, as principais características, do edifício, que interessam a esta pesquisa.

Tabela 17: Características do Edifício A

Área total construída do complexo	24.929,80 m ²
Área construída aproximada da EMEF	4.000,00 m ²
Área do Andar tipo aproximado da EMEF	1.330,00 m ²
Ano de construção	2002/2003
Número de salas de aula/laboratórios no 3º pavimento	16
Largura “bruta” de cada escada ¹	1,30 m
Largura livre de cada escada ²	1,08 m
Largura do corredor contíguo às salas de aula	2,30 m
Altura da edificação ³	6,60 m
Dimensões dos degraus	16,5 x 30 cm
Inclinação da escada	29º
Tipo de piso na escada	borracha

¹ – Na largura “bruta” não se consideram os corrimãos;

² – Trata-se da largura livre utilizada na escada, ou seja, largura bruta descontando-se os corrimãos;

³ – “Medida em metros entre o ponto que caracteriza a saída ao nível de descarga, sobre a projeção do paramento externo da parede da edificação ao piso do último pavimento, excluindo-se áticos, casa de máquinas, barrilete, reservatório de água e assemelhados” (IT nº 03/2011 do DE 56.819/2011).

4.4.1.2 Edifício B

Localizado no bairro de Vila Prudente, cidade de São Paulo, trata-se de uma escola pública municipal de ensino fundamental. As salas de aula estão predominantemente localizadas no segundo e terceiro pavimentos. No primeiro pavimento (térreo) existem três pequenas salas de aula e uma sala de artes. A parte administrativa também se encontra no pavimento térreo, mas em um edifício anexo, contíguo ao edifício principal. As duas escadas existentes são utilizadas pelos alunos no dia-a-dia. Nessa pesquisa foi utilizada apenas uma das escadas, denominada B1 (ver Figura 31).

Figura 31: Plantas do Edifício B

2º PAVIMENTO

1º PAVIMENTO

PAVIMENTO TÉRREO

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017)

A seguir são apresentadas na Tabela 18, as principais características, do edifício, que interessam à pesquisa.

Tabela 18: Características do Edifício B

Área total construída	6.025,00 m ²
Área aproximada do andar tipo EMEF ¹	464,00 m ²
Ano de construção	1978
Número de salas de aula/múltiplos uso por pavimento:	2º - 7 1º - 7 Térreo - 4
Largura “bruta” de cada escada ²	1,55 m
Largura livre de cada escada ³	1,39 m
Largura do corredor contíguo às salas de aula	1,50 m
Altura da edificação ⁴	6,50 m
Dimensões dos degraus	16 x 28 cm
Inclinação da escada	30º
Tipo de piso da escada	granilite

1 – Além do andar tipo, no pavimento térreo constam duas áreas não representadas na Figura 31, a saber: área administrativa, recreio coberto e quadra poliesportiva;

2 – Na largura “bruta” não se consideram os corrimãos;

3 – Trata-se da largura livre utilizada na escada, ou seja, largura bruta descontando-se os corrimãos;

4 – “Medida em metros entre o ponto que caracteriza a saída ao nível de descarga, sobre a projeção do paramento externo da parede da edificação ao piso do último pavimento, excluindo-se áticos, casa de máquinas, barrilete, reservatório de água e assemelhados” (IT nº 03/2011 do DE 56.819/2011).

4.4.1.3 Edifício C

Localizado no bairro do Belenzinho, cidade de São Paulo, trata-se de uma escola mantida pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) que oferece ensino fundamental e médio gratuitos. A escola funciona em um complexo de edifícios que oferece, além de educação, práticas esportivas, recreativas e culturais. O complexo possui cinco edifícios e a escola de ensino fundamental ocupa o Bloco B (Ver Figura 32).

Figura 32: Vista aérea do Edifício C

Fonte: GOOGLE MAPS, [201-].

As três escadas existentes no edifício são utilizadas pelos alunos e funcionários no dia-a-dia. Nessa pesquisa foi utilizada apenas uma das escadas, denominada C1 (ver Figura 33).

A seguir são apresentadas na Tabela 19 as principais características, do edifício, que interessam à pesquisa.

Tabela 19: Características do Edifício C

Área total construída do complexo	14.572,00 m ²
Área construída do Prédio B (objeto desse estudo)	4.114,00 m ²
Área do Andar tipo aproximado da EMEF	668,00 m ²
Início das atividades	1960
Número de salas de aula/laboratórios Prédio B	21
Largura “bruta” de cada escada ¹	1,40 m
Largura livre de cada escada ²	1,29 m
Largura do corredor contíguo às salas de aula	2,50 m
Altura da edificação ³	15,15 m
Dimensões dos degraus	17 x 29 cm
Inclinação das escadas	30°
Tipo de piso das escadas	granilite

¹ – Na largura “bruta” não se consideram os corrimãos;

² – Trata-se da largura livre utilizada na escada, ou seja, largura bruta descontando-se os corrimãos;

³ – “Medida em metros entre o ponto que caracteriza a saída ao nível de descarga, sobre a projeção do paramento externo da parede da edificação ao piso do último pavimento, excluindo-se áticos, casa de máquinas, barrilete, reservatório de água e assemelhados” (IT nº 03/2011 do DE 56.819/2011).

Figura 33: Plantas do Edifício C

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.4.2 Apresentação da pesquisa para os funcionários das escolas, professores e alunos

O procedimento adotado nessa etapa da pesquisa foi o mesmo utilizado na fase de pré-teste.

4.4.3 Seleção, instalação e teste dos sistemas de CFTV e RFID

Neste trabalho, com o objetivo de aprimorar a coleta dos tempos e diminuir imprecisões em seus registros, foi proposta a adoção de mecanismos automáticos para capturar os dados, além do uso já consagrado das imagens do circuito fechado de televisão (CFTV). Isto se daria por meio da adoção do sistema de Identificação por Rádio Frequência, também conhecido por RFID (*Radio Frequency Identification*), para a leitura dos tempos de passagem em pontos pré-definidos.

Além da captura de imagens em pontos fixos por meio do CFTV e da coleta de tempos de passagem em pontos fixos pré-definidos, também se utilizou, tanto para filmagens como para o registro de imagens de cenas específicas, câmeras fotográficas e filmadoras portáteis individuais, em locais não cobertos pelos sistemas de CFTV.

4.4.3.1 Sistema de CFTV

Após a definição das escadas a serem utilizadas para a coleta dos dados, em cada uma das três escolas, procurou-se avaliar qual seria a melhor posição para a instalação das câmeras do CFTV e onde seria instalado o equipamento que centraliza a gravação dos vídeos, denominado *Digital Video Recorder* (DVR).

Definido o posicionamento das câmeras e do DVR, iniciou-se o processo para avaliar o caminhamento dos cabos que interligariam ambos, visto que se trata de um sistema de CFTV estruturado por cabos do tipo UTP (*Unshielded Twisted pair*). Cada um desses cabos possui quatro pares de fios, um deles, o marrom, utilizado para alimentação elétrica das câmeras e os outros três para enviar o sinal de vídeo de cada câmera para o DVR. Para a alimentação elétricas das câmeras, foram utilizadas fontes de 12 V (ver Figura 34).

Figura 34: Cabo UTP utilizado no sistema de CFTV e fonte para alimentação das câmeras

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Para a captura das imagens foram utilizadas câmeras Hikvision, modelo DS-2CE56C0T-IRM, com taxa de 25 fotogramas por segundo. O DVR utilizado também foi fabricado pela Hikvision, com capacidade de saída para 16 câmeras. O software para gerenciamento e configuração do sistema de CFTV foi fornecido quando da aquisição do DVR.

Na Figura 35 pode-se observar uma das câmeras do CFTV instaladas em uma das escolas e a central do sistema de CFTV, composta pelo DVR, duas fontes para alimentação elétrica das câmeras e monitor para ajuste e visualização das imagens.

Figura 35: Câmera e DVR do sistema de CFTV

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Na Tabela 19 estão indicadas as quantidades de câmeras instaladas em cada uma das três escolas.

Tabela 19: Quantidades de câmeras instaladas

Escola	Quantidade de câmeras
A	5
B	5
C	13

Fonte: Produzido pelo autor, 2018.

Nas Figuras 36, 37 e 38, pode-se verificar o posicionamento das câmeras do sistema de CFTV em cada uma das escadas das três escolas e o posicionamento das antenas do sistema de RFID que foi instalado na Escola A.

Figura 36: Posicionamento das câmeras de CFTV e das antenas de RFID – Escola A

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Figura 37: Posicionamento das câmeras de CFTV - Escola B

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Figura 38: Posicionamento das câmeras de CFTV - Escola C

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.4.3.2 Sistema *Radio Frequency Identification* (RFID)

Um sistema de RFID é constituído basicamente por três componentes: o *tag*, também conhecido como *transponder*, a antena e o leitor. O transponder é um pequeno dispositivo (microchip) que serve como identificador da pessoa ou objeto no qual foi implementado e, quando submetido à ação de um campo eletromagnético, é energizado e responde aos sinais emitidos pela antena. A antena tem a função de emitir ondas eletromagnéticas que ao serem recebidas pelo transponder retornam a informação contida em sua memória (pequeno microchip). O leitor tem a função de receber e interpretar os sinais que foram recebidos pela antena e transmiti-los para um computador (FOINA, 2007). Na Figura 39 pode-se observar os componentes de um sistema de RFID.

Fonte: Foina, 2007.

Nesta pesquisa, foram utilizados os transponders do tipo passivo. Trata-se de hardware sem bateria ou qualquer outra fonte de energia interna para seu funcionamento. Esse transponder aproveita a energia enviada pela antena (tapetes ou totens por onde os sujeitos passam) para alimentar os seus circuitos e transmitir os seus dados armazenados de volta (Ver Figura 40). O transponder passivo tem uma constituição muito simples, sendo formado por um número reduzido de elementos. Os códigos coletados pelas antenas são transmitidos para o leitor e enviados para um computador onde são registrados a codificação dos chips e o horário que foi captado.

Figura 40: Transponder, antena, leitor e computador para captura das informações

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Na pesquisa realizada na Escola A, as listas com o nome de cada aluno do ensino fundamental I foram enviadas com antecedência para a empresa responsável pelo fornecimento do sistema RFID para que o registro de cada aluno fosse gravado no transponder.

No dia do experimento, a equipe da empresa contratada forneceu a sequência de códigos associados a cada um deles. Esses códigos já estavam gravados no microchip dos transponders e foram distribuídos para os alunos, ocasião em que a equipe envolvida na pesquisa auxiliou na fixação desses nos calçados dos alunos.

Na Figura 41 pode-se observar a antena instalada no início de um dos lances da escada, protegida por uma rampa antiderrapante e um dos alunos com o transponder fixado no tênis.

Figura 41: Antena com protetor (rampado), aluno com o transponder fixado no tênis

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Os tempos dos alunos foram gravados no computador da equipe que forneceu o sistema e alguns dias após o experimento, os dados (tempos) foram enviados em uma planilha.

4.4.4 Definição dos critérios para a coleta dos tempos dos alunos e dos percursos percorridos

O trajeto individual percorrido por cada um dos 783 alunos (soma dos alunos das três escolas) que participaram da pesquisa foi monitorado com o objetivo de coletar os tempos nos pontos predefinidos (início e fim do lance das escadas), o percurso dos patamares e os seus comportamentos ao descender a escada. Todos os participantes foram posicionados no último pavimento do edifício para iniciar o movimento descendente. Para identificar cada um dos alunos e monitorar todo o seu trajeto, instalou-se uma câmera filmadora portátil, próximo à escada, no andar onde os alunos iniciaram a descida e, solicitou-se que eles informassem o seu nome antes de iniciarem a atividade. Com essas gravações foi possível identificar cada um dos alunos nos vídeos obtidos com as câmeras do sistema de CFTV e, conseqüentemente, rastreá-los durante todo o percurso.

Na Figura 42, pode-se observar o posicionamento das câmeras portáteis sobre o tripé.

Figura 42: Filmadoras portáteis contíguas às escadas – Escolas A, B e C

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.4.4.1 Lances de escadas

Inicialmente, realizou-se o levantamento cadastral das três escolas e, de forma mais criteriosa, das escadas e dos patamares. Nas escadas, foram obtidas as seguintes medidas: a largura e a profundidade dos degraus, a distância dos lances, as larguras

das escadas e dos patamares, a largura da parede ou guarda corpo entre os lances, o diâmetro dos corrimões e a distância entre a parede/guarda corpo e o corrimão, além das distâncias entre os degraus dos lances no patamar, tendo-se em vista que nenhuma das escadas possuíam os degraus alinhados no patamar¹⁰

Nas Figuras 43, 44 e 45 são apresentadas, em perspectiva, o desenho das escadas de cada uma das três escolas.

Figura 43: Trajeto percorrido pelos alunos na escada - Escola A¹¹

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

¹⁰ Essas distâncias terão impacto nas equações que descrevem o caminhamento percorrido pelas crianças nos patamares que serão apresentadas nesse capítulo.

¹¹ Somente a escada da direita foi utilizada para a coleta de dados nessa pesquisa.

Figura 44: Trajeto percorrido pelos alunos na escada - Escola B

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Figura 45: Trajeto percorrido pelos alunos na escada - Escola C

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.4.4.2 Patamares das escadas

O trajeto percorrido por cada aluno nos patamares foi observado e transcrito para uma planilha, assim como os tempos e os comportamentos.

Diante dessas observações, constatamos que no último degrau de cada lance das escadas, os alunos, antes de iniciarem o caminhar no patamar, estavam posicionados no meio da escada ou em uma das extremidades. Para fins de tabulação nas planilhas, considerou-se que os alunos iniciaram o movimento no patamar, provenientes do lance, pelo caminho interno¹² (I), meio (M) ou externo (E). O critério adotado para o acesso ao lance subsequente, quando da saída do patamar, foi o mesmo.

No patamar, também foram adotadas três possibilidades de percurso, ou seja, interno (I), meio (M) ou externo (E). Para o aluno que optou pelo caminho mais curto, considerou-se que percorreu o caminho interno (Figura 46).

Com essa combinação de três possibilidades de acesso ao patamar, três de percursos no patamar e três de saídas do patamar (acesso ao lance), obteve-se vinte e sete possibilidades de percursos e, conseqüentemente, distâncias de caminhar diferentes no patamar. Contudo, como pode ser observado na Figura 46, embora existam percursos diferentes, algumas distâncias são iguais. Como por exemplo, um aluno que iniciou o percurso no patamar pelo lado interno do lance, percorreu o percurso interno no patamar e iniciou a descida do lance subsequente pelo meio do lance, teve seu percurso descrito com IIM. Um outro aluno que percorreu o percurso MII, embora diferente do IIM, a distância percorrida por ambos foi igual.

Todas as possibilidades de percurso de cada um dos patamares para cada escola foram desenhadas no programa de computador AutoCad. Esses desenhos foram úteis na conferência das equações que descrevem os trajetos percorridos. As equações serão apresentadas ainda nesse capítulo.

¹² Adotou-se como caminho interno o lado da escada contíguo ao lance subsequente, ou seja, o percurso de menor distância.

Na Figura 46 e no Quadro 9 pode-se observar as possibilidades de percursos adotados nessa pesquisa para o patamar.

Figura 46: Possibilidades de percursos no patamar da Escola B

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Quadro 9: Possibilidades de percursos no patamar

ACESSO	I	M	E	SAÍDA
I	III	IMI	IEI	I
	IIM	IMM	IEM	M
	IIE	IME	IEE	E
M	MII	MMI	MEI	I
	MIM	MMM	MEM	M
	MIE	MME	MEE	E
E	EII	EMI	EEI	I
	EIM	EMM	EEM	M
	EIE	EME	EEE	E

I=interno – M= meio – E=externo

Fonte: Produzido pelo autor (2018).

4.4.1 Definição dos critérios para a coleta dos trajetos percorridos nos lances e uso dos corrimãos

O trajeto percorrido por cada aluno nos lances foi observado e transcrito para uma planilha, assim como o uso dos corrimãos. Tendo-se em vista que o trajeto percorrido pelos alunos, em cada um dos lances, poderia influenciar na distância de caminhada, e conseqüentemente na velocidade, esses trajetos foram tabulados, para posteriormente serem calculados.

Para fins de tabulação, assim como para os patamares, considerou-se três possibilidades de percursos e possíveis combinações dessas, ou seja: pelo caminho interno¹³ (I), meio (M) ou externo (E). As possíveis combinações adotadas foram: IM, IE, ME, MI, EM e EI.

Com relação ao uso dos corrimãos, o aluno foi classificado como tendo utilizado o corrimão no lance se, ao menos uma vez o utilizou, mesmo que esse uso tenha sido por pouco tempo.

4.4.2 Coleta dos dados antropométricos

A antropometria é a ciência que estuda as dimensões do corpo humano. Essas medidas são utilizadas para acompanhar o desenvolvimento infantil, avaliar o estado nutricional de crianças, na indústria de vestuários, por arquitetos e designers, dentre outros.

Segundo Martins (2009), a antropometria é amplamente aceita por ser de fácil aplicabilidade, não invasiva, de baixo custo e com possibilidade de utilização de equipamentos portáteis. Nesse trabalho, com o objetivo de obter dados mais precisos dos caminhos percorridos pelos alunos nos patamares das escadas e buscar a existência de relação entre o Índice de Massa Corporal (IMC¹⁴), a largura bideltóide e

¹³ Adotou-se como caminho interno o lado da escada contíguo ao lance subsequente, ou seja, o percurso de menor distância.

¹⁴ O *American College Sports and Medicine* (ACSM) define o IMC (Índice de Massa Corporal) como a medida antropométrica que utiliza uma fórmula aceita como padrão de medida internacional para identificar, da melhor maneira possível, o grau de obesidade de uma pessoa.

a velocidade dos alunos, foram coletadas as seguintes medidas antropométricas: peso, altura e medida bideltóide.

As medidas descritas acima foram tomadas de cada um dos alunos matriculados entre o primeiro e o quinto ano do ensino fundamental I, de cada uma das três escolas. O método para a coleta das medidas de peso e altura utilizou como referência o manual de antropometria do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (BRASIL, 2013), elaborado para orientar os antropometristas envolvidos na Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) realizada no ano de 2013. Para coleta da largura bideltóide, adotou-se o procedimento descrito por Franco (2005, p. 60) adaptado pelo autor.

4.4.2.1 Altura

Antes da coleta, solicitou-se que os alunos retirassem os sapatos, enfeites e prendedores de cabelos e penteados que pudessem interferir na coleta da medida.

Para coleta da medida utilizou-se trena com graduação em milímetros fixada na parede.

Procedimentos seguidos:

- a) a criança ficou descalça (ou com meias) e vestindo roupas leves;
- b) a criança ficou em pé com as pernas e pés paralelos, peso distribuído em ambos os pés, braços relaxados ao lado do corpo e palmas das mãos voltadas para o corpo;
- c) as costas das crianças ficaram voltadas para a parede;
- d) a criança ficou com: o calcanhar, panturrilhas, nádegas, costas e a parte posterior da cabeça, encostados na parede;

- e) a cabeça das crianças foi posicionada no plano de Frankfurt¹⁵ (Figura 47);
- f) realizou-se a leitura e registrou-se a medida.

Figura 47: Plano de Frankfurt (visão lateral)

Fonte: Brasil (2013).

4.4.2.2 Peso corporal

Para a coleta do peso corporal dos alunos das Escolas A e B utilizou-se balança eletrônica portátil, mostrador com indicador digital, com capacidade de 150 Kg e precisão de 0,1 Kg. Para os alunos da Escola C, utilizou-se balança antropométrica digital com régua antropométrica acoplada¹⁶.

A balança portátil eletrônica foi aferida com uma balança calibrada do Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). A balança utilizada para medir o peso dos alunos da Escola C estava calibrada, como pode ser visto na Figura 48.

¹⁵ Plano de Frankfurt é a linha imaginária que passa, lateralmente, no corno superior do maxilar e na borda do malar e, frontalmente, nos ângulos inferiores do orbital. É utilizado para posicionar a cabeça de modo a exigir o maior eixo que se pode traçar do crânio.

¹⁶ A Escola C dispunha de três balanças, sendo que duas eram providas de régua antropométrica com fração de 0,5 cm.

Figura 48: Balança utilizada na Escola C

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Antes da coleta, solicitou-se que os alunos retirassem os sapatos, “roupas pesadas” (casacos e blusas grossas), óculos, cinto, enfeites e prendedores de cabelos e objetos dos bolsos.

Procedimentos seguidos

- a) a criança ficou descalça (ou com meias) e vestindo roupas leves;
- b) a criança subiu na balança, com os dois pés apoiados na plataforma e o peso distribuído em ambos os pés;
- c) a criança ficou ereta e olhando para a linha do horizonte;
- d) realizou-se a leitura e registrou-se o peso.

Na Figura 49 pode-se observar a equipe de pesquisa coletando o peso e altura dos alunos.

Figura 49: Equipe coletando o peso e a altura dos alunos

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

4.4.2.3 Medida bideltóide.

Para a coleta da largura entre os músculos deltoides utilizou-se antropômetro com graduação em milímetros (mm), (Ver Figuras 50 e 51).

Antes da coleta, solicitou-se que os alunos retirassem “roupas pesadas” (casacos e blusas grossas).

Procedimentos seguidos

- a) a criança ficou em pé, de forma ereta com os braços pendentes ao longo do corpo;
- b) o peso ficou distribuído igualmente em ambos os pés;
- c) a cabeça ficou orientada no plano de Frankfurt;
- d) as hastes do antropômetro foram posicionadas nas faces de maior proeminência dos músculos deltoides direito e esquerdo paralelamente ao ângulo horizontal.

Figura 50: Antropômetro

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Figura 51: Equipe coletando a medida bideltóide

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

5 TABULAÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo são apresentados os softwares utilizados na tabulação dos dados, o critério adotado para a correção dos tempos registrados nas gravações, o critério adotado para a exclusão dos trechos (lances e patamares) em 'que os alunos apresentaram comportamentos diferentes dos que foi solicitado e, por fim, os trajetos percorridos nos patamares e as respectivas equações que representam esses percursos.

5.1 PROGRAMA UTILIZADO PARA ANÁLISE DOS VÍDEOS E CORREÇÃO DOS TEMPOS

O programa utilizado para leitura dos vídeos foi o *Windows Movie Maker*. Inicialmente, para a análise dos vídeos da Escola A, utilizou-se o *Window Media Player* e para a coleta dos tempos, o cronômetro oriundo das gravações gerado pelo DVR, com precisão de segundos. Contudo, chegamos à conclusão de que a precisão na coleta dos tempos teria que ser mais refinada e teríamos que trabalhar com centésimos de segundos, visto que os percursos, tanto nos lances quanto nos patamares, eram curtos.

Durante a análise dos vídeos constatamos a existência de diferença nos tempos provenientes do vídeo oriundo das gravações e registrado nos vídeos, aqui denominado de tempo real (TR) e o tempo do programa utilizado para análise dos vídeos, denominado de tempo relativo (TRL). Sendo assim, examinamos o valor dessa diferença para cada uma das câmeras utilizadas no experimento. Na sequência explicaremos de forma detalhada o procedimento utilizado nos ajustes.

Todas as câmeras do sistema de CFTV iniciaram e finalizaram a gravação dos vídeos no momento em que o DVR era ligado e desligado, ou seja, alguns minutos antes e depois do início e do fim da coleta dos dados. Operacionalmente, um vídeo muito grande dificultaria a tabulação dos dados devido a lentidão causada na abertura dos

arquivos. Sendo assim, optou-se por “quebrar” o arquivo em diversos vídeos menores, um para cada câmera de cada turma.

No caso da Escola B, a título de exemplo, na escada B1 foram instaladas cinco câmeras do sistema de CFTV; ao final das coletas tínhamos cinco vídeos, um para cada câmera. Com a “quebra” e considerando que nove turmas participaram da coleta, obteve-se quarenta e cinco vídeos, cinco para cada turma.

No caso de uma das turmas da mesma escola, todos os vídeos, após o “corte” iniciaram às 9 h: 12 min: 00 s (TR) conforme pode ser visto nas imagens apresentadas nas Figuras 52 e 53, obtidas a partir dos vídeos de duas câmeras. Na parte inferior direita pode ser visto o cronômetro do programa *Windows Movie Maker* zerado (TRL). Sendo assim, era suposto que quando o TR mudasse para 9 h: 13 min: 00 s, o TRL mudaria para 01 min: 00 s, 00 cs. No entanto, o cronômetro do programa registrou 00 min: 59 s: 73 cs. Na Figura 53 foi realizado o mesmo procedimento e o tempo registrado foi de 00 min: 59 s: 47 cs.

Figura 52: Diferença entre os tempos registrados nas gravações

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Figura 53 Diferença entre os tempos registrados nas gravações

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Na Tabela 20 apresentamos as diferenças de uma das turmas da Escola B.

Tabela 20: Diferença entre os tempos de cada uma das câmeras

Tempo e câmera	Tempo registrado	Diferença (cs)
T1 – Câmera 1	59 s: 63 cs	
T2-T3 – Câmera 2	59 s: 53 cs	+ 10 cs
T4-T5 – Câmera 3	59 s: 73 cs	- 10 cs
T6-T7 – Câmera 4	59 s: 47 cs	+ 16 cs
T8 – Câmera 5	59 s: 40 cs	+ 23 cs

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Após a obtenção dessas diferenças, todos os tempos foram corrigidos tendo-se como referência o tempo registrado na primeira câmera que coletou o primeiro tempo, ou seja, o T1, coletado no lance nº 1, momento em que o aluno iniciou a descida da escada.

5.2 TABULAÇÃO DOS DADOS

5.2.1 Dados coletados com o auxílio das câmeras do sistema de CFTV

Para cada aluno foram coletados os tempos em cada um dos lances e patamares, o trajeto percorrido nos lances e patamares, qual corrimão foi utilizado, se o aluno pulou degraus, correu, parou, além de outros comportamentos que não correspondiam ao que foi solicitado, que era caminhar normalmente. Na Tabela 21 demonstra-se a quantidade de alunos que participaram do experimento por escola, a quantidade de tempos e trechos coletados.

Tabela 21: Quantidade de alunos, tempos e trechos coletados

Escola	Quant. de alunos	Quant. dados antropom. ¹⁷	Quant. de tempos coletados	Quant. de trechos coletados		
				L	P	Total
A	283	228	2264	1132	849	1981
B	196	160	1568	784	588	1372
C	304	218	4560	2432	912	3344
Total	783	606	8392	4348	2349	6697

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel.

Com os tempos de cada aluno planilhados foi possível obter o tempo despendido por cada aluno para percorrer um determinado trecho (lance ou patamar). O comprimento (inclinado) de todos os lances de todas as escadas utilizadas nos experimentos foi medido no local. Diante desses dados, foi possível obter a velocidade de cada aluno em cada um dos lances.

Para a obtenção das velocidades nos patamares, durante a fase de tabulação foi indicado em planilha o trajeto percorrido, conforme já mencionado e descrito por três letras. Foram desenvolvidas quinze equações para descrever os percursos utilizados pelos alunos das Escolas A e quinze para a escola B. Para a Escola C, devido as particularidades da escada (só possuía corrimão em um dos lados de cada lance) foram necessárias dezessete equações, totalizando, assim, quarenta e sete equações para as três escolas. As equações que representam as vinte e sete possibilidades de percurso em cada escada serão apresentadas ainda nesse capítulo. Essas equações foram inseridas na planilha do programa Microsoft Excel em substituição ao trecho percorrido, até então descrito por três letras.

Após a tabulação e já na fase de tratamento dos dados, observou-se que uma parcela significativa de alunos apresentou velocidades elevadas se comparadas com a média, enquanto poucos apresentaram velocidades baixas. Ainda que na fase de tabulação os comportamentos atípicos tivessem sido anotados em planilha, se fez necessário, antes de procedermos o descarte dos dados tidos como atípicos, reanalisamos os

¹⁷ A quantidade de dados antropométricos foi inferior, pois vários alunos estavam ausentes nas datas das coletas.

vídeos.

Durante a reanálise dos vídeos, constatamos que a maioria dos alunos que tiveram as velocidades elevadas, correu. No entanto, uma pequena parcela teve suas velocidades elevadas por apresentar passos largos.

Na Tabela 22 pode-se observar a quantidade de trechos que foram descartados durante a reanálise dos vídeos e a quantidade descartada durante a análise estatística. Para o descarte por meio de análise estatística utilizou-se a norma da *American Society for Testing and Materials E178-08* (ASTM, 2008).

Tabela 22: Quantidade de trechos descartados

Escola	Quant. de trechos descartados na reanálise de vídeos			Quant. de trechos descartados na análise estatística		
	L	P	Total	L	P	
A	93	283	205	2	2	4
B	79	176	147	7	10	17
C	257	304	373	0	1	1
Total	429	783	725	9	13	22

L= Lances e P= Patamares

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

A quantidade de trechos considerados como válidos, ou seja, de alunos que não correram e nem pararam durante o percurso é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23: Quantidade de trechos válidos

Escola	Quant. de trechos válidos		
	L	P	Total
A	1037	642	1679
B	698	432	1130
C	2175	538	2713
Total	3910	1612	5522

L= Lances e P= Patamares

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

A quantidade de dados descartados foi significativa, de 10% nos lances e 31,4% nos patamares. Tais resultados são consequências das minuciosas análises explicadas anteriormente. Tendo-se em vista que a largura bideltóide foi considerada com mais uma variável nas equações que descrevem os trajetos nos patamares, alunos que não tiveram essa medida coletada não tiveram suas velocidades nos patamares.

5.2.2 Dados coletados com RFID

Nas medições realizadas com RFID ocorreram problemas no registro dos tempos. O fornecedor, após a finalização do simulado, entregou uma planilha com os dados de tempo individualizados por aluno e por trecho percorrido. Numa análise da própria planilha entregue, verificou-se que os tempos nem sempre estavam coerentes (Ver Tabela 24). Havia grande discrepância nos valores entre alunos da mesma sala, assim como valores totalmente irreais (negativos). Além disso, os tempos registrados por RFID foram comparados com os tempos obtidos nas observações das gravações realizadas pelo sistema de CFTV. Estes tempos também eram muito diferentes, em muitos casos - o que gerou dúvidas sobre a confiabilidade e precisão do sistema para as medições pretendidas na pesquisa.

Por dificuldades técnicas e operacionais, o sistema não apresentou resultados satisfatórios, em função das particularidades da forma de medição de tempos da pesquisa, não usual para os fornecedores que estão acostumados a utilizar o sistema para medição de tempos em corridas.

Por exemplo, o aluno A.L., do 5º A teve um tempo de 333,25 segundos entre o ponto 2 e o ponto 3. Já a aluna A. P.F., teve um tempo de 1,51 segundos para o mesmo trecho. Diferenças similares podem ser vistos em registros de outras turmas. Para os alunos do 1º A, os tempos foram negativos. Observa-se que os tempos obtidos através das gravações do sistema de CFTV se apresentam coerentes entre si.

Tabela 24: Tempos obtidos com os sistemas de CFTV e RFID

Aluno	Tempo entre o 1º e 2º ponto de medição		Tempo entre o 2º e o 3º ponto de medição	
	RFID	CFTV	RFID	CFTV
A.L. (5º ano A)	18,38	17,49	333,25	13,57
A.P.F. (5º ano A)	14,85	11,88	1,51	9,57
A.C.O.L. (5º ano B)	13,37	11,44	34,95	10,07
A.K.J.A. (5º ano B)	11,44	11,11	49,83	10,53
B.V.S.D. (5º ano C)	12,75	13,20	213,27	11,02
D.T.S.M. (5º ano C)	15,47	11,28	11,03	10,11
A.D.G.S. (1º ano A)	467,26	17,64	-29,51	16,94
A.S.J. (1º ano A)	452,74	12,71	-35,19	10,03

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Diante do exposto, chegou-se à conclusão que, para a pesquisa em questão, coletar dados de tempo utilizando RFID não atendeu às expectativas e necessidades dos pesquisadores. Portanto, decidiu-se por não dar continuidade à coleta de dados utilizando o sistema RFID. O fornecedor contratado foi pago pelos serviços prestados.

5.3 CÁLCULO PARA PERCURSO NOS LANCES

O método utilizado para a definição dos percursos nos lances foi o mesmo utilizado na fase de pré-teste de descrito no Capítulo 3. Nas Tabelas 25 e 26 são apresentadas as distâncias consideradas para o cálculo das velocidades nos lances.

Tabela 25: Percursos nos lances (m) – Escola A e B

Escola	Lances			
	Lance 1	Lance 2	Lance 3	Lance 4
A	3,09	3,10	3,10	3,10
B	3,13	2,99	2,985	2,985

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Tabela 26: Percursos nos lances (m) – Escola C

Escola	Lances		
	Lances 1, 3, 5 e 7	Lances 2, 4 e 6	Lance 8
C	2,70	2,35	3,70

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

No Capítulo 4 foram apresentadas as perspectivas das escadas utilizadas nos experimentos.

5.4 EQUAÇÕES DE PERCURSO NOS PATAMARES

Para cada um dos percursos percorridos foi desenvolvida uma equação para calcular a distância percorrida no patamar. Essas equações consideraram além dos percursos já descritos, representados por três letras, a largura da escada, a medida bideltóide de cada aluno, a distância entre a parede e o corrimão, a largura do corrimão além da largura da parede/distância entre os guarda-corpos que separam os dois lances da escada.

Tendo-se em vista que não foi possível coletar a distância entre o ombro (músculo deltoide) do aluno e o corrimão/parede, considerou-se os 10 cm definidos por Pauls (1980 apud NELSON; MOWRER, 2002, p. 369).

Na sequência são apresentadas parcialmente as plantas de cada uma das escadas com as medidas coletadas no local e consideradas nas equações. São apresentadas, também, exemplos de equações para cada escola. As demais plantas e equações para cada um dos percursos de cada uma das escadas são apresentadas no Apêndice C.

5.4.1.1 Escada da Escola A

Figura 54: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Figura 55: Equações que descrevem os percursos III, IMI e IEI – Escola A

$III = \pi \left(Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Lp + Va$	(8)
$IMI = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \frac{Le}{2} - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + Va$	(9)
$IEI = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + Va$	(10)

Fonte: Produzida pelo autor.

5.4.1.2 Escada da Escola B

Figura 56: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Figura 57: Equações que descrevem os percursos III, IMI e IEI – Escola B

$III = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + (Lp + 2Dpc + Lc) + V \quad (1)$	(11)
$IMI = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} \right) - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + V \quad (1)$	(12)
$IEI = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2Le - 2 \left(2Dpc + Lc + 10 + \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + V \quad (1)$	(13)
<p>⁽¹⁾ V: medida variável</p> <p>Para percurso no patamar 1: somar Va</p> <p>Para percurso no patamar 2: somar Vb + Vc</p> <p>Para percurso no patamar 3: somar Vd</p>	

Fonte: Produzida pelo autor.

5.4.1.3 Escada da Escola C

Figura 58: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo

Figura 59: Equações que descrevem os percursos III, IMI e IEI – Escola C

$III = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + Lp + Va + Vb$	(14)
$IMI = \pi \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + (Lp + 20 + Bd) - (Le - Dpc - Lc) + Va + Vb$	(15)
$IEI = \pi \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Va + Vb$	(16)

Fonte: Produzida pelo autor.

6 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentadas as análises dos resultados do processamento dos dados coletados a partir das câmeras de vídeos e dos dados antropométricos individuais coletados nas escolas. Essa análise foi feita enfocando os dados sob os seguintes pontos de vista:

a) Frequência de ocorrência dos valores da velocidade de caminhamento descendente em escadas:

- Velocidade nos lances;
- Velocidade nos patamares.

b) Comportamentos dos alunos durante o movimento descendente:

- Trajetos percorridos nos lances e patamares;
- Uso dos corrimãos.

c) Relação da velocidade com os dados antropométricos:

- Relação entre velocidade no lance e IMC;
- Relação entre velocidade no lance e medida bideltóide.

A quantidade total de dados de velocidades válidos obtidos para os alunos das três escolas é de 5.521. Desse total, 3.910 são relativos às velocidades nos lances das escadas e 1.611 às velocidades nos patamares. Foram coletados dados antropométricos de 606 alunos.

6.1 VELOCIDADE DE CAMINHAMENTO

As velocidades parciais (por trechos de lances e de patamares de escadas) e a velocidade média de cada um dos alunos foram obtidas. O conjunto de dados foi agrupado por turma e por escola. Considerando que o ensino fundamental I inicia-se no 1º ano e termina no 5º ano, tem-se cinco grupos para cada escola, totalizando 15

grupos de dados.

6.1.1 Velocidade de caminhada nos lances

Conforme descrito no capítulo anterior, para cada lance de escada foram coletados dois tempos, no momento da entrada e da saída do lance. A velocidade do aluno no lance foi obtida através da divisão da distância percorrida no lance pelo tempo decorrido entre o início e o fim do trajeto naquele lance. A quantidade de dados de velocidades válidos para os lances de escadas são: Escola A: 1037, Escola B: 698 e Escola C: 2175.

No Gráfico 12, são apresentados os percursos utilizados pelos alunos durante as descidas nos lances para as três escolas. Tendo-se em vista que em aproximadamente 90% dos trechos percorridos nos lances, os alunos não mudaram de lado durante a descida (trajeto sempre feito exclusivamente pelo: lado Interno da escada – I; ou lado Externo da escada – E; ou pelo meio da escada – M), considerou-se, para todos os casos, como a distância de caminhada, o comprimento de uma linha reta entre o primeiro e o último degrau de cada lance.

Fonte: produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

A frequência de ocorrência das velocidades nos lances, por ano e escola são apresentadas nos Gráficos 13 a 17.

Gráfico 13: Frequência de ocorrência de velocidades para os alunos dos 1^{os} anos

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os 1^{os} anos, pode-se observar-se que a distribuição de frequência de velocidades para os alunos das Escolas A e C foram semelhantes, sendo que para a primeira, a maior frequência se deu em torno da velocidade de 0,80 m/s (20%), enquanto para a segunda, foi 0,70 m/s (25%). A tendência de ambas as curvas é de uma distribuição assimétrica desviada para a direita, verificando-se valores de, até, 1,20 m/s. Para os alunos da Escola B, houve, também, maior concentração de frequência para a velocidade de 0,70 m/s, representando aproximadamente 37 %. Para essa última escola pode-se dizer que a curva está mais próxima de uma normal do que das demais escolas e não se verificam valores de velocidade maiores que 1,00 m/s.

Gráfico 14: Frequência de ocorrência para os alunos dos 2^{os} anos

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os 2^{os} anos, pode-se observar que a frequência maior de velocidades médias para os alunos tanto das Escolas A como B está entre 0,70 m/s e 0,80 m/s. Para a Escola A, a maior frequência se deu em torno da velocidade de 0,80 m/s (25%), enquanto para a B, foi 0,70 m/s (23%). Para os alunos da Escola C, houve maior concentração de frequência para a velocidade de 1,00 m/s, representando aproximadamente 25 % do total. A tendência para as escolas A e B é de uma distribuição assimétrica desviada para a direita, enquanto que a curva da escola C se aproxima de uma normal, com valores de velocidade superiores às duas primeiras.

Gráfico 15: Frequencia de ocorrência para os alunos dos 3^{os} anos

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os 3^{os} anos, também pode-se observar que a maior frequência de velocidades tanto para os alunos da Escola A como B ficou entre 0,70 m/s e 0,90 m/s. A maior frequência para a Escola A ocorreu para velocidades de 0,90 m/s (25%), já para a B foi para 0,70 m/s (21,5%). As velocidades dos alunos da Escola C apresentaram maiores frequências concentradas entre 0,80 e 1,10 m/s. A tendência para as escolas A e B é de uma distribuição assimétrica desviada para a direita, como já verificado para os alunos do 1^o ano. Já a escola C apresenta uma curva mais simétrica.

Gráfico 16: Frequência de ocorrência para os alunos dos 4^{os} anos

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os alunos dos 4^{os} anos, o perfil das frequências de velocidades é similar para a três escolas. A maior frequência de ocorrência para elas está nas velocidades de 0,80 m/s, representando, respectivamente, 31% para a escola A, 27% para a escola B e 23% para a escola C. No entanto, há uma distribuição mais uniforme das frequências de velocidades da escola C, entre 0,80 e 1,0 m/s. A tendência para as três escolas é de uma distribuição assimétrica desviada para a direita.

Gráfico 17: Frequência de ocorrência para os alunos dos 5^{os} anos

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os 5^{os} anos, as frequências de ocorrência, por escola, têm distribuição mais simétrica e aproximam-se de curvas normais. As maiores frequência para a Escola A

ocorreram para as velocidades de 0,80 m/s (32%) e 0,90 m/s (29%), para a B de 0,90 m/s (18%) e 1,0m/s (17%) e, para a Escola C, para as velocidades de 1,00 m/s (18%), 1,10 m/s (19%) e 1,20m/s (17%).

Na Tabela 27, são apresentadas as medidas estatísticas de síntese dos dados contidos nos gráficos: as velocidades médias e o desvio padrão, além do intervalo de confiança de 95% para a média, por ano e por escola, bem como a quantidade de alunos participantes e lances válidos.

Tabela 27: Dados de velocidade média nos lances por turma – Escola A, B e C

Parâmetro	Escola A				
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Quantidade de alunos	54	54	62	54	58
Lances válidos	204	201	217	197	218
Velocidade média (m/s)	0,75	0,76	0,84	0,81	0,80
Desvio padrão (m/s)	0,19	0,17	0,17	0,17	0,12
Intervalo de confiança para a média	0,026	0,024	0,022	0,024	0,017
	Escola B				
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Quantidade de alunos	19	42	45	44	46
Lances válidos	62	155	163	162	156
Velocidade média (m/s)	0,64	0,82	0,82	0,87	0,97
Desvio padrão (m/s)	0,12	0,18	0,21	0,19	0,21
Intervalo de confiança para a média	0,031	0,028	0,033	0,029	0,034
	Escola C				
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Quantidade de alunos	59	59	62	62	62
Lances válidos	442	414	448	472	399
Velocidade média (m/s)	0,74	0,93	0,92	0,87	0,98
Desvio padrão (m/s)	0,19	0,17	0,18	0,17	0,18
Intervalo de confiança para a média	0,018	0,16	0,017	0,015	0,018

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

No Apêndice D são apresentados os seguintes parâmetros estatísticos: velocidades mínima, mediana e máxima, quartis e percentis para cada ano de cada uma das escolas.

Nos Gráficos 18, 19 e 20, são apresentados os resumos dos parâmetros estatísticos relativos às Escolas A, B e C. A média da amostra é apresentada com a letra “X” e a mediana com uma linha horizontal na área interna da caixa, as bordas superior e inferior da caixa apresentam os limites dos quartis, linhas horizontais nas

extremidades inferiores e superiores apresentam os valores extremos e os pontos representam os dados atípicos, ou *outliers*¹⁸.

Verifica-se que os menores valores de velocidade estão, aproximadamente, entre 0,40 m/s e 0,50 m/s, dependendo da escola e do ano. Já para os valores máximos, a maior parte dos resultados está entre 1,20 m/s e 1,40 m/s, mas com ocorrência de alguns valores fora desse intervalo, como verificado nos 5^{os} anos da Escolas B (1,60 m/s) e no 1^o ano da escola B (1,00m/s). Essa resposta já era observável no perfil assimétrico de distribuição de velocidades desviado para a direita, anteriormente comentado e é devido a aspectos comportamentais individuais. Com relação às medianas, verifica-se que a grande maioria dos resultados está entre 0,80 m/s e 1,00 m/s. Os intervalos interquartis para, praticamente, todos os casos ficaram entre 0,22 m/s e 0,28 m/s, mostrando que há pequena dispersão de 50% dos valores em torno da média.

De modo geral, não há uma tendência clara de aumento de velocidade de caminhada nos lances com o aumento da idade (variável associada ao ano escolar). Apenas nas escolas B e C os alunos dos 1^{os} anos têm velocidade mediana e limites do 3^o quartil menor que as dos demais anos dessas escolas, fato que não se repete para a escola A.

¹⁸ Em estatística, *outlier* ou valor atípico, é um valor que apresenta um grande afastamento das demais da série (que está "fora" dela), ou que é inconsistente. Mesmo após a eliminação dos trechos em que se constatou que os alunos correram, o modelo estatístico do Programa Excel ainda considerou os pontos indicados nos gráficos *boxplot* como sendo *outliers*.

Gráfico 18: *Boxplot* demonstrando as velocidades nos lances – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 19: *Boxplot* demonstrando a velocidades nos lances – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 20: *Boxplot* demonstrando a velocidades nos lances – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

A partir dessa dispersão de resultados, buscou-se verificar se todos os grupos de alunos poderiam ser representados por um único valor médio, por ano escolar. O Gráfico 21 apresenta as velocidades médias nos lances por escola e grupo de turmas com os intervalos de confiança de 95% para a média.

Gráfico 21: Velocidades médias, com intervalos de confiança de 95% de probabilidade para os lances

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Pode-se observar, no Gráfico 21 que as velocidades médias com os intervalos de confiança apresentam variabilidade entre alunos do mesmo ano. Por exemplo, os alunos dos 1^{os} anos das Escolas A e C apresentaram velocidades médias semelhantes, ou seja, dentro do intervalo de confiança. Já os alunos dos 2^{os} anos, apresentaram velocidades médias diferentes, dado que os intervalos de confiança não se sobrepõem. As velocidades médias dos alunos dos 3^{os} anos são semelhantes somente para as Escolas A e B e os alunos dos 4^{os} e 5^{os} anos, para as Escolas B e C.

Os alunos do 2º e do 3º ano da Escola C apresentaram velocidades superiores à dos alunos do mesmo ano das demais escolas. Enquanto os alunos do 1º ano da Escola B e os alunos do 5º ano da Escola C apresentaram velocidades significativamente inferiores.

Assim, em resumo, não é possível reunir os dados das três escolas, mesmo por ano escolar, visto que eles não são estatisticamente agrupáveis.

6.1.2 Conclusões sobre velocidades de caminhada nos lances

Escola A foi a que apresentou velocidades mais homogêneas para os 5 anos escolares. A escada utilizada no experimento não é usada com frequência. Os alunos só a utilizam no horário de saída. Para as demais atividades, usa-se a escada central coletiva. Diferentemente das outras duas escolas, a falta de familiaridade com a escada pode ter contribuído para que os alunos caminhassem com mais precaução e, como consequência, apresentassem velocidades inferiores para três turmas, em comparação com as demais escolas. Além da baixa frequência de uso, a escada desta escola era a única que possuía piso de borracha. Esse tipo de piso apresenta maior coeficiente de atrito se comparado com os de acabamento de granilite das outras escolas.

As velocidades médias dos alunos dos 1^{os} anos das escolas B e C foram menores que as dos demais anos escolares. Para as demais séries de dados, a variabilidade foi elevada.

Com relação aos valores extremos, destaca-se que, embora tenham ocorrido com baixa frequência, a menor velocidade obtida foi de 0,33 m/s para um trecho percorrido por um aluno do 1º ano da Escola A, enquanto que a maior foi de 1,60 m/s, para um trecho percorrido por um aluno do 5º ano da Escola B. Esses valores são fortemente atípicos.

As velocidades de crianças caminhando livremente em escadas disponíveis na literatura são escassas. O software Simulex desenvolvido por Peter Thompson da *Integrated Environmental Solutions Ltd* (IES, 2014) adota para a velocidade de caminhada descendente em escada 60% da velocidade de caminhada horizontal, definida como sendo $0,9 \text{ m/s} \pm 0,3 \text{ m/s}$. Esse desenvolvedor não informa a fonte utilizada para esses parâmetros de velocidade. O software FDS+EVAC (KORHONEN, 2018, p. 20), desenvolvido pelo Centro de Pesquisas Técnicas da Finlândia (*VTT Technical Research Centre of Finland*) adota a mesma faixa de velocidade de caminhada de crianças¹⁹ em plano horizontal do Simulex, contudo, apresenta vários resultados de experimentos (abandonos reais monitorados) usados para validar o programa. Entre esses experimentos, adotando a já apresentada faixa de velocidades de caminhada em plano horizontal (v_h), é sugerido que não seja adotado uma velocidade descendente de pessoas em escadas menor que $0,6.v_h$ quando se utiliza a opção de modelagem mais detalhada. De fato, os melhores resultados são obtidos quando esse redutor está entre 0,6 e 0,8 (KORHONEN, 2018, p. 56). Para a opção de simulação com o modelo mais simples de escada, é recomendado o valor de 0,6 (KORHONEN, 2018, p. 91)

Aplicando-se o redutor de 0,6 apenas à velocidade média e mantendo a mesma amplitude para a distribuição, hipótese que representa um mesmo impacto em todas as pessoas, as velocidades ficariam compreendidas entre o intervalo de 0,24 m/s até 0,84 m/s.

Ao analisamos os histogramas de frequência de ocorrência para as velocidades, constatamos que em vários trechos ocorreram velocidades superiores as do intervalo

¹⁹ O termo “crianças” utilizado pelos softwares não definem a faixa de abrangência desse grupo, ou seja, crianças de todas as idades estão nesse “pacote” de velocidades.

adotado pelos softwares mencionados. Ou seja, observou-se uma tendência de distribuição desviada para a direita para valores acima de 0,84 m/s. Na Tabela 28 pode-se verificar a porcentagem de trechos em que as velocidades foram superiores a 0,84 m/s.

Tabela 28: Frequência de ocorrência para as velocidades nos lances acima de 0,84 m/s

Anos	Escolas		
	A	B	C
1 ^{os}	31%	6%	27%
2 ^{os}	30%	40%	68%
3 ^{os}	47%	38%	63%
4 ^{os}	37%	49%	52%
5 ^{os}	36%	68%	75%

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Embora os softwares considerem a menor velocidade como sendo 0,24 m/s, não constatamos, dentre 3.910 dados analisados para os lances, a ocorrência de nenhuma velocidade com valores abaixo de 0,30 m/s. Velocidades de até 0,40 m/s ocorreram apenas 14 vezes.

A frequência de ocorrência de velocidades com valores superiores aos limites adotados pelos softwares para crianças e adultos foram elevadas. Nos Gráficos 22, 23 e 24, pode-se observar a frequência de velocidades acumuladas por ano para cada escola. O intervalo de velocidades descendentes para escadas adotado como padrão pelos softwares para crianças também é apresentado.

Com relação à velocidade de adultos, ambos os softwares consideram, assim como para crianças, um fator de redução para as velocidades de caminhada em escadas de 0,6 da velocidade de caminhada livre em trechos planos, considerada como sendo 1,25 m/s $\pm$ 0,30 m/s. Aplicando-se o mesmo procedimento, as velocidades ficariam compreendidas entre os intervalos de 0,45 m/s até 1,05 m/s.

Gráfico 22: Frequência acumulada para as velocidades nos lances - Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 23: Frequência acumulada para as velocidades nos lances - Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 24: Frequência acumulada para as velocidades nos lances - Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Nos mesmos gráficos acima mencionados, observa-se que para a Escola A as velocidades obtidas são compatíveis com o intervalo de velocidades considerado pelos modelos para a população de adultos. Para a Escola B, as velocidades obtidas para os alunos do 1º ano estão dentro do intervalo considerado para a população de adultos, mas para os demais anos, a frequência de velocidade que extrapolaram a velocidade máxima adotada foram elevadas. Para os alunos do 5º ano, foi de aproximadamente 30%. Já para os alunos da Escola C, 90% dos alunos do 1º ano apresentaram velocidades dentro do intervalo definido para adultos, mas para os alunos do 5º ano, aproximadamente 40% apresentaram velocidades superiores.

Considerando as velocidades médias e os intervalos de confiança para a média apresentados na Tabela 27, é possível verificar que somente os alunos do 1º ano da Escola B apresentaram valores inferiores aos adotados pelos softwares para adultos.

Portanto, pode-se concluir que as velocidades obtidas para crianças descendo escadas, com idade entre 6 e 10 anos, são mais compatíveis com as velocidades adotadas pelos softwares para a população de adultos, embora tenha-se observado velocidades superiores às de adultos. Diante do exposto, é possível afirmar que ambos os softwares adotam velocidades para crianças, com idade entre 6 e 10 anos,

diferentes das obtidas nessa pesquisa, visto que a frequência para velocidades com valores superiores ao limite adotado pelos softwares foi elevada.

6.2 VELOCIDADE EM PATAMARES

Conforme descrito no capítulo anterior, para cada patamar da escada foram coletados dois tempos (na entrada e saída do patamar). A velocidade de cada aluno no patamar foi obtida através da divisão da distância percorrida (obtida através da análise dos vídeos) pelo tempo decorrido entre o início e o fim do trajeto naquele patamar.

Não foram encontrados, na literatura, dados de velocidade de caminhada em patamares de escadas embora os patamares sejam componentes das escadas.

As frequências de ocorrência das velocidades nos patamares são apresentadas nos Gráficos 25 a 29.

Gráfico 25: Frequência de ocorrência para os alunos do 1º ano

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os 1ºs anos, observa-se que a distribuição de frequência de velocidades para os alunos das Escolas A e B foram semelhantes, sendo que para a primeira, a maior frequência ocorreu em torno da velocidade de 0,90 m/s (20%), enquanto para a segunda, foi 0,80 m/s (22%). A tendência de ambas as curvas é de uma distribuição assimétrica desviada para a direita, verificando-se valores entre 0,30 m/s até 1,40 m/s

para a Escola A e valores entre 0,50 m/s até 1,60 m/s para a Escola B. Esses valores extremos ocorreram com baixas frequências. Para os alunos da Escola C, a maior frequência de ocorrência ocorreu para a velocidade de 1,20 m/s, representando aproximadamente 20%. Assim como as demais escolas, a curva de distribuição tem formato assimétrico, desviado para a direita, porém, verificando-se valores superiores, entre 0,70 m/s até 1,70 m/s.

Gráfico 26: Frequência de ocorrência para os alunos do 2º ano

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para as três escolas, as frequências de velocidades ocorreram de formas distintas para as turmas do 2º ano. Para a Escola A, as maiores frequências se apresentam de forma mais concentrada, entre 0,70 m/s e 1,00 m/s, representando aproximadamente 73%, verificando-se valores extremos entre 0,50 m/s até 1,40 m/s. Para a Escola B, a distribuição de frequência se apresentou de forma assimétrica, com maiores frequências entre as velocidades de 0,90 m/s até 1,30 m/s, representando aproximadamente 67%, verificando-se valores extremos entre 0,50 m/s até 1,80 m/s. Já para a Escola C, as frequências também se apresentaram de forma assimétrica, concentradas entre 1,00 m/s e 1,60 m/s, representando 81% das frequências observadas.

Gráfico 27: Frequência de ocorrência para os alunos do 3º ano

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para os 3ºs anos, pode-se observar que a maior frequência de velocidades, tanto para a Escola A como B ficou entre 0,90 m/s e 1,20 m/s, representando, respectivamente, 80,5% e 78,9%. Para a Escola A verificou-se valores extremos entre 0,40 m/s e 1,50 m/s e para a Escola B, entre 0,60 m/s e 1,60 m/s. Ambas apresentam distribuição assimétrica desviada para a direita. Para a Escola C, a distribuição se aproxima de uma curva normal e as maiores frequências ocorreram entre 1,20 m/s e 1,40 m/s (49,6%).

Gráfico 28: Frequência de ocorrência para os alunos do 4º ano

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para as três escolas, as frequências de velocidades ocorreram de formas distintas nas turmas do 4º ano. Para a Escola A, as maiores frequências se apresentam de forma mais concentrada, entre 0,70 m/s e 1,00 m/s, representando aproximadamente 63,70%, verificando-se valores extremos entre 0,50 m/s até 1,50 m/s. Para a Escola B, as maiores frequências ocorreram entre as velocidades de 0,90 m/s até 1,20 m/s, representando aproximadamente 73%, verificando-se valores extremos entre 0,70 m/s até 1,60 m/s. Já para a Escola C, as frequências se apresentaram de forma mais uniforme, concentradas entre 1,00 m/s e 1,40 m/s, representando 81% das frequências observadas.

Gráfico 29: Frequência de ocorrência para os alunos do 5º ano

Fonte: Dados coletados em campo.

Para os 5ºs anos, observou-se três distribuições de frequência específicas. A Escola A apresentou curva mais uniforme, com valores concentrados entre 0,90 m/s e 1,10 m/s (62,4%). Para a Escola B, observa-se uma distribuição assimétrica desviada para a direita com frequências bem distribuídas. Já para a Escola C, há uma concentração de frequência entre as velocidades de 1,20 m/s e 1,40 m/s (60%).

Na Tabela 29, são apresentadas as medidas estatísticas de síntese dos dados contidos nos gráficos: as velocidades médias e o desvio padrão, além do intervalo de confiança de 95% para a média, por ano e por escola, bem como a quantidade de alunos participantes e patamares válidos.

Tabela 29: Dados de velocidades médias nos patamares por ano – Escola A, B e C

Parâmetro	Escola A				
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Quantidade de alunos	54	54	62	54	58
Lances válidos	131	124	129	133	125
Velocidade média (m/s)	0,81	0,83	0,98	0,90	0,91
Desvio padrão (m/s)	0,22	0,19	0,19	0,20	0,16
Intervalo de confiança para a média	0,038	0,033	0,034	0,035	0,028
	Escola B				
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Quantidade de alunos	19	42	45	44	46
Lances válidos	50	88	104	96	93
Velocidade média (m/s)	0,81	1,01	0,96	1,02	1,12
Desvio padrão (m/s)	0,26	0,26	0,21	0,21	0,24
Intervalo de confiança para a média	0,073	0,055	0,041	0,043	0,049
	Escola C				
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Quantidade de alunos	59	59	62	62	62
Lances válidos	110	101	101	111	115
Velocidade média	1,11	1,24	1,30	1,15	1,19
Desvio padrão (m/s)	0,23	0,28	0,23	0,19	0,20
Intervalo de confiança para a média	0,043	0,057	0,047	0,044	0,037

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

No Apêndice D são apresentados os seguintes parâmetros estatísticos: velocidades mínima, mediana e máxima, quartis e percentis para cada ano de cada uma das escolas.

Nos Gráficos 30, 31 e 32 são apresentados os resumos dos parâmetros estatísticos relativos às velocidades nos patamares para as Escolas A, B e C. Os *boxplots* mostram a média da amostra com a letra “X” e a mediana com uma linha horizontal na área interna da caixa, as bordas superior e inferior da caixa apresentam os limites dos quartis, linhas horizontais nas extremidades inferiores e superiores apresentam os valores extremos e os pontos representam os dados atípicos, ou *outliers*.

Verifica-se que a Escola A apresentou valores mínimos menores que os observados nas demais escolas para todos os anos. Para a Escola C, as velocidades elevadas ocorreram com maior frequência se comparadas com as demais escolas. A variabilidade de velocidades foi elevada, sendo que a menor observada foi de 0,30 m/s e a maior de 1,80 m/s. Assim como nas velocidades observadas para os lances,

aspectos comportamentais individuais podem justificar essa amplitude.

Com relação às medianas, elas variaram entre 0,81 m/s e 0,97 m/s para a Escola A, 0,75 m/s e 1,09 m/s para a Escola B e 1,11 m/s e 1,29 m/s para a Escola C. Os intervalos interquartis para a Escola A ficou entre 0,25 m/s e 0,30 m/s, para a Escola B, entre 0,27 m/s e 0,30 m/s e, para a Escola C, entre 0,28 m/s e 0,32 m/s, exceto para o 2^{os} anos, que foi de 0,44 m/s. Exceto para os alunos dos 2^{os} anos da Escola C, observa-se que há pequena dispersão de 50% dos valores em torno da média.

De modo geral, não há uma tendência clara de aumento de velocidade de caminhada nos patamares com o aumento da idade (variável associada ao ano escolar).

Observou-se que os alunos da Escola C apresentaram velocidades médias maiores do 1^o ao 4^o ano.

Gráfico 30: *Boxplot* demonstrando as velocidades nos patamares – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 31: *Boxplot* demonstrando as velocidades nos patamares – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 32: *Boxplot* demonstrando as velocidades nos patamares – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

A partir dessa dispersão de resultados, buscou-se verificar se todos os grupos de alunos poderiam ser representados por um único valor médio, por ano escolar. O Gráfico 33 apresenta as velocidades médias nos patamares por escola e grupo de turmas com os intervalos de confiança de 95% para a média.

Gráfico 33: Velocidades médias, com intervalos de confiança de 95% de probabilidade para os patamares

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Pode-se observar, no Gráfico 33, que as velocidades médias com intervalo de confiança apresentaram variabilidade entre alunos do mesmo ano. Por exemplo, os alunos das 1^{as} anos das Escolas A e B apresentaram velocidades médias semelhantes, ou seja, dentro do intervalo de confiança. Já os alunos dos 2^{os} e 4^{os} anos das diferentes escolas apresentaram velocidades médias distintas. As velocidades médias dos alunos dos 3^{os} anos são semelhantes somente para as Escolas A e B e entre os alunos dos 5^{os} anos, para as Escolas B e C.

Observa-se, também, que alunos de diferentes anos e escolas apresentaram velocidades semelhantes. Os alunos dos 1^{os} anos das Escolas A e B apresentaram velocidades semelhantes à dos alunos do 2º ano da Escola A. Já os alunos do 2º ano da Escola B, tiveram velocidades semelhantes às dos alunos dos 3^{os} anos das Escolas A e B e 4º ano da escola B. Nesse último exemplo, observa-se que há alunos do 2^{os}, 3^{os} e 4^{os} anos.

Sendo assim, não é possível reunir os dados das três escolas, mesmo por ano escolar, visto que eles não são estatisticamente agrupáveis.

6.2.1 Conclusões das velocidades de caminhamento nos patamares

A Escola C apresentou velocidades superiores para todas as turmas, exceto para o 5º ano. O fator preponderante para essa disparidade possivelmente foi o comprimento do patamar. Enquanto a distância entre os lances para as Escolas A e B era de aproximadamente 0,30 m, (ver Figura 60) para a Escola C era de 1,50 m nos patamares dos andares. Sendo assim, supõe-se que as velocidades nos patamares da Escola C se aproximaram à de caminhamento em trechos horizontais com espaço para ganhos de velocidade.

Na Figura 60 são apresentados os desenhos das escadas utilizadas nos experimentos onde pode-se perceber que o trajeto a ser percorrido no patamar da Escola C é maior que o das demais escolas.

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Nos patamares, as velocidades dos alunos dos 1ºs anos não se mostraram inferiores as dos demais, como ocorreu para os lances.

Ao analisarmos os histogramas de frequência de ocorrência para as velocidades nos patamares, constatamos que grande parte dos alunos apresentaram velocidades superiores as do intervalo adotado pelos softwares já mencionados para crianças em trechos planos (0,60 m/s até 1,20 m/s). Na Tabela 30 pode-se observar as velocidades adotadas pelos softwares para crianças e adultos em trechos planos.

Tabela 30: Valores mínimos e máximos adotados pelos softwares (m/s)

Crianças em trechos planos	Adultos em trechos planos
0,60 - 1,20	0,95 - 1,55

Fonte: IES (2015) ; Korhonen (2018). Adaptado pelo autor.

Na Tabela 31 pode-se verificar a porcentagem de velocidades que foram superiores a máxima adotada pelos softwares para crianças em trechos planos (1,20 m/s).

Tabela 31: Frequência de ocorrência para as velocidades nos patamares acima de 1,20 m/s

Anos	Escolas		
	A	B	C
1 ^{os}	3,8%	6,0%	32,7%
2 ^{os}	4,8%	26,1%	55,4%
3 ^{os}	14,7%	14,4%	66,3%
4 ^{os}	7,5%	17,7%	40,5%
5 ^{os}	2,4%	35,5%	50,4%

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Embora os softwares considerem a menor velocidade como sendo 0,60 m/s, constatamos, dentre 1611 dados analisados para os patamares, a ocorrência de 62 velocidades de até 0,60 m/s, ou seja, 3,85%.

Para a escolas A, observa-se que a frequência de velocidades superiores a 1,20 m/s foi inferior a das demais escolas. Conforme já comentado anteriormente quando analisamos as velocidades nos lances, a escada utilizada no experimento não é utilizada com frequência e seu piso é de borracha. Portanto, a falta de familiaridade com a escada associada ao maior coeficiente de atrito do piso podem ter contribuído para que as velocidades dos alunos dessa escola tenha se mostrado inferiores aos das demais.

Nos Gráficos 34, 35 e 36, observa-se, que para a Escolas A, as turmas apresentaram velocidades compatíveis com a de crianças para trechos planos. Para a Escola B, a variação de velocidades foi grande, não sendo compatível com nenhum dos intervalos definidos para trechos planos (crianças ou adultos). Parcela significativa das turmas apresentaram velocidades superiores as definidas para crianças em trechos planos. O caso mais extremo foi observado para os alunos da 5º ano, cuja porcentagem de

velocidades superiores foi de aproximadamente 35%. Já para a Escola C, esses valores foram de, aproximadamente 35% dos alunos da 1º ano e, no caso extremo, de aproximadamente 65% para os alunos da 3º ano.

Gráfico 34: Frequência acumulada para velocidades nos patamares – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 35: Frequência acumulada para velocidades nos patamares – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 36: Frequência acumulada para velocidades nos patamares – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Diante do exposto, é possível afirmar que as velocidades obtidas nos patamares para os alunos da Escola A são compatíveis com as velocidades adotadas pelos softwares para crianças em trechos planos. Para os alunos da Escola B, parte significativa das velocidades foram superiores à velocidade máxima adotada pelos softwares para crianças. Já para a Escola C, as velocidades obtidas foram muito superiores às velocidades adotadas para crianças, aproximando-se mais à velocidade de adultos em trechos planos (0,95 até 1,55 m/s).

Portanto, pode-se concluir que as velocidades obtidas para crianças nos patamares, com idade entre 6 e 10 anos, apresentaram grande variabilidade e que as velocidades adotadas pelos softwares para crianças em trechos planos foram compatíveis somente com as velocidades obtidas para os alunos da Escola A.

6.3 TRAJETOS PERCORRIDOS NOS PATAMARES

Com o objetivo de compreender os trajetos utilizados por cada aluno nos patamares de cada escada, os dados coletados nessa pesquisa foram transcritos para uma planilha. Para fins de tabulação, considerou-se que os alunos iniciaram o movimento

no patamar, proveniente do lance, pelo caminho interno²⁰ (I), meio (M) ou externo (E). No patamar, também foram adotadas três possibilidades de percurso, interno (I), meio (M) ou externo (E).

Com essa combinação de três possibilidades de acesso ao patamar, três de percursos no patamar e três de saídas do patamar, obteve-se vinte e sete possibilidades de trajetos. Os dez trajetos que ocorreram com maior frequência²¹ em cada uma das três escolas são apresentados no Gráfico 37.

Legenda: I: interno – M: meio – E: externo. As três letras que aparecem no gráfico, para cada trajeto, são as combinações adotadas nessa pesquisa para percursos no patamar.

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

No Apêndice E são apresentados os gráficos com a frequência de cada trajeto percorrido agrupado por ano para cada escola.

Para as três escolas, os dez trajetos observados com maior frequência foram utilizados por, aproximadamente, 90% das crianças. Para a Escola A, representam

²⁰ Adotou-se como caminho interno o lado da escada contíguo ao lance subsequente, ou seja, o percurso de menor distância.

²¹ A quantidade de trajetos apresentados no Gráfico 17 é de 15, pois houve variação entre as escolas.

87%, para a Escola B, 89% e para a Escola C, 91%. Dos dez trajetos descritos acima, apenas quatro ocorreram em todas as escolas e representam, respectivamente: Escola A, 52,8%; Escola B, 63,9 e Escola C, 65,7% dos trajetos percorridos (Ver Gráfico 38).

Legenda: I: interno – M: meio – E: externo. As três letras que aparecem no gráfico, para cada trajeto, são as combinações adotadas nessa pesquisa para percursos no patamar.

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

A partir dos dados expostos, é possível perceber que as conclusões de Templer (1992 apud KULIGOWSKI et al, 2015) acerca do trajeto percorrido no patamar não se confirmaram nessa pesquisa. Segundo o autor, os indivíduos optam por caminhar pelo meio do patamar.

Entretanto, constatou-se que o trajeto III ocorreu com maior frequência, representando 37,8% para a Escola A; 47,6% para a Escola B e 45,4% para a Escola C. Já o trajeto MMM, ocorreu com a seguinte frequência: 8% para a Escola A, 2,6% para a B e 8% para a C.

Ao considerar um único trajeto (MMM) no patamar, como proposto por Templer (1992), as velocidades dos indivíduos são superestimadas, visto que a distância considerada é maior que as observadas nesse estudo.

Embora tenha-se constatado que o caminho mais curto ocorreu com maior frequência,

a adoção de um trajeto pré-determinado não representa a maior parcela dos trajetos possíveis e observados. Vale ressaltar que os percursos observados foram obtidos com os alunos caminhando livremente, se a influência do grupo. No caso de incêndios ou mesmo simulados de abandono, a escolhas dos percursos poderão ser influenciadas pela posição dos demais ocupantes que utilizam a escada simultaneamente.

6.4 USO DOS CORRIMÃOS

Essa análise tem por objetivo avaliar a frequência de utilização dos corrimãos pelos alunos dos diversos anos e se o desenho do corrimão pode ter impacto na frequência de uso.

Observou-se para as Escolas A e B, a existência de relação entre a idade e a não utilização dos corrimãos. Os alunos mais novos foram os que mais utilizaram o corrimão. Para a Escola C, ocorreu o inverso. Os alunos dos três primeiros anos foram os que menos utilizaram o corrimão. O Gráfico 39 demonstra a frequência de não utilização dos corrimãos nos lances das escadas por ano e por escola.

Gráfico 39: Não uso dos corrimãos nos lances de escadas para as três escolas

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Para a Escola C, as características do corrimão interno foram determinantes para que os alunos menores o utilizassem com menos frequência. A escola foi construída na década de 1950 e o guarda corpo central existente (alvenaria), com altura de 80 cm,

tinha dupla função²², servir como corrimão e guarda corpo ao mesmo tempo (ver Figura 61), característica não aceita pela norma da ABNT NBR 9050 vigente e nem pela ABNT NBR 9077. O corrimão externo, de madeira, conforme pode ser observado na mesma imagem, também possui dimensões incompatíveis com as definidas pela referida norma; está instalado a uma altura de 80 cm e sua empunhadura mede 6 cm. Os corrimãos também não eram contínuos. Constatou-se que devido a sua altura e forma, muitos alunos dos três primeiros anos não se utilizaram dos corrimãos. A norma citada determina que o diâmetro dos corrimãos tenha entre 3 e 4,5 cm e que estes sejam instalados em duas alturas, 70 e 90 cm, sendo que a menor deve ser considerada para atender crianças e pessoas com baixa estatura. E os corrimãos deveriam ser contínuos, sempre que possível.

Figura 61: Patamares da escada da Escola C

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2017).

Na escada da Escola A existem corrimãos em ambos os lados, são contínuos e foram instalados em duas alturas. Vários alunos utilizaram o corrimão mais baixo e outros desceram os lances utilizando o caminho central e segurando em ambos os corrimãos. Apenas a Escola A possuía corrimão em duas alturas e contínuos. A escada da Escola B possuía corrimão de ambos os lados dos lances, mas também não eram contínuos.

²² Os tubos em amarelo que aparecem nas imagens não são corrimãos. Tratam-se de complementos instalados para aumentar a altura do guarda-corpo.

6.5 RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADES NOS LANCES E MEDIDAS ANTROPOMÉTRICA

Nessa pesquisa, buscou-se avaliar a existência de possível relação entre a velocidade média de cada um dos alunos ao descender os lances das escadas e o seu IMC. Buscou-se, também, aferir se a medida bideltóide poderia exercer alguma influência na velocidade das crianças.

Para o movimento descendente nos lances comparou-se a velocidade média dos alunos com seu IMC e com sua medida bideltóide. No caso dos patamares, a medida bideltóide foi utilizada para formulação das equações que descrevem o percurso e, portanto, para obtenção das velocidades, sendo, assim, inadequada a sua utilização para qualquer análise da influência da bideltóide nas velocidades.

Pode-se observar, no Gráfico 40, que alunos com IMC elevados apresentaram velocidades médias similares a de alunos com IMC baixos. Esse gráfico demonstra, de modo geral, o que foi observado para as demais turmas, ou seja, uma baixa correlação entre o IMC e a velocidade média. No Apêndice F são apresentados os gráficos para todos os anos de cada uma das escolas.

Gráfico 40: Relação entre a velocidade média (m/s) e o IMC - 4º ano da Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Tyler e Fujiyama (2011), em seus experimentos, composto por dois grupos de pessoas com diferentes idades, com idade média de $71 \pm 5,9$ anos e $34,5 \pm 12,7$,

também não encontraram relação significativa entre as velocidades em escadas com o IMC.

Como o IMC é calculado tendo-se como parâmetro o peso e altura, o índice não leva em consideração a massa muscular de cada indivíduo. Sendo assim, crianças com IMC parecidos podem apresentar características físicas diferentes.

Testou-se encontrar, também, possíveis relações entre a medida bideltóide dos alunos com suas velocidades médias. Os resultados foram similares aos obtidos na relação entre o IMC e a velocidade média, ou seja, uma correlação extremamente baixa.

Pode-se observar, no Gráfico 41, que alunos com medida bideltóide menores apresentaram velocidades médias similares a de alunos com medidas bideltóides maiores. Esse gráfico demonstra, de modo geral, o que foi observado para as demais turmas, ou seja, uma baixa correlação entre a medida bideltóide e a velocidade média. No Apêndice G são apresentados os gráficos para todos os anos de cada uma das escolas.

Gráfico 41: Relação entre a velocidade média (m/s) e a bideltóide - 2º ano da Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Assim como constataram Tyler e Fujiyama (2011), nessa pesquisa concluímos que existe uma baixa correlação entre a idade, a altura e o peso. Para a medida bideltóide essa correlação também não foi obtida.

7 CONCLUSÕES

O objetivo principal desta pesquisa foi tentar comprovar a tese de que a velocidade de caminhada de crianças ao descender escadas é menor que a velocidade de adultos. Para atingir esse objetivo foram coletados e analisados dados relativos à velocidade de caminhada de crianças do Ensino Fundamental I (1º a 5º ano, idade entre 6 e 10 anos), descendo escadas em suas escolas, sem a influência de outros pedestres, além da observação de aspectos comportamentais nesse movimento, tais como os percursos utilizados nos lances das escadas e patamares e o uso dos corrimãos. Buscou-se avaliar, também, a existência de relação entre medidas antropométricas e a velocidade médias dos alunos no movimento de descida das escadas.

Tinha-se como expectativa encontrar padrões diferenciados de velocidade média para crianças, por idade. Contudo, devido à elevada dispersão dos valores obtidos, tanto nos lances quanto nos patamares, para alunos matriculados no mesmo ano e mesmo em anos diferentes, nas três escolas, não foi possível estabelecer uma relação entre a velocidade média e a idade dos alunos.

Os menores valores individuais obtidos ao longo de um lance ficaram entre 0,40 m/s e 0,50 m/s, dependendo da escola e do ano. Os maiores valores variaram entre 1,20 m/s e 1,40 m/s, sendo, assim, quase 3 vezes maiores que os menores valores registrados.

Apenas os alunos do 1º ano das Escolas B e C apresentaram velocidades descendentes nos lances inferiores aos dos alunos dos outros anos, dessas mesmas escolas. Para os demais grupos de alunos, houve grande variação. Quanto ao trajeto percorrido pelos alunos nos lances das escadas, constatou-se que em, aproximadamente, 90% dos trechos percorridos, os alunos não mudaram de lado durante a descida, ou seja, seguiram uma trajetória retilínea entre o primeiro e o último degrau de cada lance, visto em corte.

Ao compararmos as velocidades obtidas nos lances nesta pesquisa com os adotados pelos softwares FDS+Evac e Simulex para crianças (distribuição homogênea de valores de 0,24 m/s até 0,84 m/s), constatamos que parcela significativa dos alunos apresentaram velocidades superiores ao intervalo de velocidades adotados pelos softwares. Com relação à velocidade mínima, não foram observados valores condizentes com os adotados pelos softwares. Para a maioria das turmas, as menores velocidades individuais obtidas ficaram entre 0,40 m/s e 0,50 m/s, mas ocorreram em poucos trechos.

As velocidades obtidas nos lances se mostraram mais compatíveis com as velocidades adotadas pelos softwares para a população de adultos em escadas (0,45 m/s até 1,05 m/s), ressaltando-se que velocidades superiores à de adultos também foram obtidas em algumas situações. Sendo assim, pode-se afirmar que as velocidades obtidas para crianças estão em um intervalo de maior amplitude e com valores mínimos mais elevados que os adotados pelos 2 softwares considerados. Dessa forma, a realização de simulações com esses softwares gerarão resultados mais conservadores que os que seriam verificados em situações reais.

Com relação aos percursos e velocidades nos patamares, constatou-se, na fase de revisão bibliográfica, a existência de poucos trabalhos que abordam a questão. A maior parte das pesquisas desenvolvidas para a obtenção de velocidades em escadas desprezam os patamares (coletando somente as velocidades nos lances) ou admitem a obtenção da velocidade considerando o conjunto lance e patamar como elemento único. Na presente pesquisa, onde analisou-se esses dois elementos separadamente, foi possível obter a frequência de todos os trajetos percorridos nos patamares. Aproximadamente, 40% dos alunos realizaram o trajeto mais curto nos patamares. Constatou-se que reduzir todas as possibilidades de trajetos a um único (metodologia adotada por vários pesquisadores e mencionadas nesse trabalho) pode levar a subestimar ou superestimar as distâncias percorridas e, por consequência, obter-se velocidades de abandono muito diferentes dos valores reais. Essa informação (frequência de trajetos percorridos) pode subsidiar os desenvolvedores de softwares de simulação de abandono de edifícios.

Por outro lado, verificou-se que as velocidades nos patamares foram compatíveis com

as velocidades adotadas pelos softwares (0,60 m/s até 1,20 m/s) para crianças em trechos planos somente para a Escola A. Para a Escola B, a faixa de abrangência das velocidades obtidas foi mais elevada. Para a Escola C, as velocidades foram mais próximas às velocidades de adultos em trechos planos adotados pelos softwares (0,95 m/s até 1,55 m/s). Para a escola C, o fator preponderante para esse resultado foi, possivelmente, o comprimento maior do patamar do andar. Enquanto a distância entre os lances para as Escolas A e B era de aproximadamente 0,30 m no menor percurso, para a Escola C era de 1,50 m - esse fato pode ter proporcionado uma aceleração no caminamento horizontal para as distâncias maiores.

Resumindo, as velocidades obtidas para crianças nos lances se assemelham a de referência de adultos. Já nos patamares, as velocidades de caminamento dos alunos foram compatíveis com as referências de velocidades em trechos planos, ora de crianças, ora de adultos.

Adicionalmente, constatou-se que a familiaridade dos alunos com as escadas pode ter influência na velocidade de caminamento descendente. Em uma das escolas, onde a escada utilizada no experimento não é acessada com muita frequência, as velocidades se mostraram mais homogêneas nas turmas, para todos os anos.

Ainda com relação aos comportamentos nas escadas, observou-se que a forma e a altura dos corrimãos contribuem para que eles sejam mais ou menos utilizados. Em uma das escolas, cujos corrimãos apresentam características diferentes das definidas pelas normas brasileiras ABNT NBR 9050 (ABNT, 2015) e NBR 9077 (ABNT, 2001), a frequência de utilização pelos alunos menores foi extremamente inferior (aproximadamente 35% para os alunos do 1º ano, 50,6% para os do 2º ano e 40% para os do 3º ano), se comparada aos alunos do mesmo ano das demais escolas. Constatou-se, ainda, que as características dos corrimãos podem ter relação com sua frequência de uso. Corrimãos projetados sem o atendimento dos critérios definidos pelas normas acima mencionadas (altura, diâmetro da empunhadura, continuidade etc.) podem contribuir para o seu não uso.

Nessa pesquisa buscou-se, também, avaliar uma possível relação entre o IMC e a velocidade média, assim como entre a medida bideltóide e a velocidade média em

escadas. Concluímos que, para a faixa etária estudada (6 a 10 anos), praticamente não existe relação entre esses parâmetros antropométricos e a velocidade dos alunos.

No caso de estabelecimentos educacionais destinados às crianças, principalmente com faixas etárias menores, aspectos do comportamento devem ser considerados para a definição da localização dos ambientes destinados a essa população. É sabido que o tempo necessário para abandono de um edifício é composto de várias parcelas de tempo e que o tempo de caminhada é um deles. Para as crianças mais novas, cujas lacunas na linguagem, percepção e compreensão ainda não foram totalmente preenchidas e devido a sua menor capacidade de tomar decisões, a adoção de medidas de segurança contra incêndio mais restritivas seria prudente. A norma norte-americana NFPA 101 (NFPA, 2012), por exemplo, no capítulo destinado a ocupações educacionais, determina que as salas ocupadas por crianças com idade até 6 anos devem ser posicionadas no nível de descarga do edifício e aquelas ocupadas por crianças com idade entre 7 e 8 anos não devem ser posicionadas a mais que um piso acima do de descarga.

Esta pesquisa partiu da hipótese de que a norma brasileira de saídas de emergência, a ABNT NBR 9077 (ABNT, 2001), ao considerar o perfil da população de diferentes categorias de "estabelecimentos de ensino" como sendo única – de adultos saudáveis, poderia estar subdimensionando as saídas de emergência para o caso específico de edificações escolares para o ciclo básico do ensino fundamental. Assim, tinha-se como pressuposto que a velocidade de caminhada descendente de crianças em escadas na faixa etária estudada seria inferior a de adultos e dependente da faixa etária.

Caso houvesse a confirmação da tese, os alunos na faixa etária estudada poderiam demorar mais para sair da edificação e assim, ficar mais tempo expostos aos efeitos nocivos de um incêndio. Contudo, para as escadas, as velocidades de caminhada não foram inferiores as de adultos. Em somente uma das escolas, os alunos apresentaram velocidades compatíveis com as de crianças em trechos planos para o caso dos patamares. Sendo assim, com os dados obtidos nesta pesquisa não é possível afirmar que a ABNT NBR 9077 estaria fornecendo subsídios que levassem ao subdimensionamento dos meios de escape de edifícios escolares para o ciclo básico

do ensino fundamental.

A grande variabilidade dos valores de velocidade obtidos indica a necessidade de se realizar mais pesquisas a fim de se buscar compreender quais são os fatores causadores dessa variabilidade. Sugere-se, para o futuro, estudos sobre:

- Velocidades de caminamento de crianças em trechos horizontais;
- Relação entre as velocidades de crianças em lances de escadas e o grau de inclinação dos lances;
- Relação entre velocidades de crianças em escadas e o coeficiente de atrito do piso das escadas;
- Relação entre velocidade de crianças em escadas e o uso de corrimãos;
- Comportamento humano de crianças e adultos relacionado à tomada de decisão e ao tempo de reação antes de iniciar o movimento rumo as saídas. Além de serem subsídios necessários para os desenvolvedores de softwares que simulam o abandono das pessoas, possibilitariam compreender as possíveis diferenças entre os variados perfis de população que ocupam edifícios escolares;
- A diferença de comportamento entre crianças treinadas (que participam periodicamente de simulados de abandono) e as que não estão familiarizadas com os procedimentos de abandono.

O processo de conscientização acerca dos direitos e necessidades das populações vulneráveis vem crescendo em toda a sociedade e, naturalmente, chegou ao projeto de edifícios, tendo como um grande marco a publicação da ABNT NBR 9050. Nesse sentido, a preocupação com a adequação do projeto das rotas de fuga ao uso por uma população plural é uma realidade. A disponibilidade de informações sobre o comportamento dessas populações em situações diversas passa a ter grande relevância para que possa ser considerada na realização desses projetos. A presente pesquisa deu mais um passo na direção de gerar tais informações.

Bibliografia

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Practice for Dealing With Outlying Observations - ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008. (ASTM E178-08).
- ANDRADE, L. M. Análise de marcha: protocolo experimental a partir de variáveis cinemáticas e antropométricas. Dissertação (Mestre) – Campinas – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física, 2002
- ANDRÉE et al. Attitudes about safe refuge areas as an egress strategy from the point of view of the mobility impaired people, authorities and building planners. In: 6rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2015, Cambridge, UK.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015. (NBR 9050).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Plano de emergência contra incêndio – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. (NBR 15219)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Saídas de emergência em edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. (NBR 9077)
- BECK, V. Performance-based fire engineering design and its application in Australia. In: International Symposium of Fire Safety Science, 1997, Melbourne, Austrália.
- BLAIR, A. J. The effect of stair width on occupant speed and flow of high rise buildings. Thesis (Master of Science in Fire Protection Engineering) - University of Maryland College Park, 2010.
- BRASIL. Lei nº 8.069, de 13 de junho de 1990, e legislação correlata. Estatuto da Criança e do adolescente, 1990.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Diretrizes nacionais gerais da educação básica. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013. 562p.

- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo demográfico 2010 - Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 270p.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pesquisa Nacional de Saúde, 2013 – Manual de Antropometria. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 26p.
- BRASIL. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR) / Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD) / Coordenação-Geral do Sistema de informações sobre a pessoa com deficiência. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012, 32p.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Fire safety engineering in buildings. Part 1. Guide to application of the fire safety engineering principles (BS 7974), London, 2001.
- BRYAN, J. L. Behavioral Response to Fire and Smoke. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, 2002a. Section 3, Chapter 12.
- BRYAN, J. L. A Select Historical Review of Human behavior in Fire. Fire Protection Engineering, Cleveland, n 16, p. 4-10, 2002b.
- BUKOWSKI, R. W. Emergency egress from building (NIST Technical Note 1623) Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2009.
- CAMPBELL, R. Structure fire in educational properties. Quincy: National Fire Protection Association, 2013.
- CANTER, D. Fires and Human Behaviour – an Introduction. In: Fires and Human Behaviour, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1980.
- CANTER, D.; BREAU, J., SIME, J. Domestic, multiple occupancy, and hospital fires. In: Fires and Human Behaviour, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1980.

- CAPOTE, J. A. et al. Children evacuation: empirical data and egress modelling. In: 5rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2012, Cambridge, UK.
- CHARTERS D.; CROWDER, D. Evacuating vulnerable and dependent people from a fire in a building. In: 5rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2012, Cambridge, UK.
- COELHO, A. L. Modelação matemática da evacuação de edifícios sujeitos à acção de um incêndio, Volume II – Anexo, 1997, 158 p. (Doutor em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Lisboa, 1997.
- CONNOLLY, K. Desenvolvimento motor: Passado, presente e futuro. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.14, p.6-15, 2000.
- CUESTA, A.; RONCHI, E.; GWYNNE, S. M. Collection and use of data from school egress trials. In: 6rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2015, Cambridge, UK.
- CUESTA, A; GWYNNE, S. M. V. The collection and compilation of school evacuation data for model use. Safety Science. V. 84, p. 24-36, 2016.
- CUESTA, A; ABREU, O; ALVEAR, D. Future Challenges in Evacuation Modelling. In.: Evacuation Modeling Trends. Santander: Springer, 2016. p. 103-129.
- KULIGOWSKI E. Computer Evacuation Models for Buildings. In: Hurley, M.J. et al. (eds) Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, Springer, New York, NY, Volume III, Chapter 60, 2016.
- DAAMEN, W; HOOGENDOORN, S. P. Free Speed Distributions for Pedestrian Traffic. In: Transportation Research Board 85th Annual Meeting, 2006, Washington DC, United States.
- DAVID, A. C.; AVILA, A. O. V. Variáveis espaço-temporais durante o andar de crianças. Revista Kinesis, Santa Maria, v. 22, p. 69-86, 2000.

DIAMOND, A. Interrelated and interdependent. *Developmental Science*, v. 10, p. 152–158, 2007.

EDWINA, J. Evacuating people with disabilities, In: *The World Trade Center Bombing: Report and Analysis*, 1993. Disponível em: ,
<https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/tr-076.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2016.

EVARTS, B. *Children playing with fire*. Quincy: National Fire Protection Association, 2011.

FAHY, R. F.; PROULX, G. Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modeling. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOR IN FIRE*, 2., 2001, Boston. *Proceedings...* Boston: MIT, 2001, p. 175-183.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. *School fires*. Maryland: FEMA, 2004. Disponível em <<http://www.usfa.dhs.gov/download/pdf>> Acesso em 10 jul. 2007.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. *Fire Risk to Children in 2010* Maryland: FEMA, 2013. Disponível em
<<https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/v14i8.pdf>> Acesso em 10 jul. 2017.

FOINA, A. G. *Monitoração de rede de sensors com transponders*. Dissertação (Mestre), São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

FRANCO A. N. *Estudo da antropometria estática em indivíduos da Terceira Idade: verificação da viabilidade de um banco de dados antropométricos*. Dissertação, Bauru, Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”, 2005.

FRUIN, J. J. *Pedestrian Planning and Design (Revised Edition)*. Mobile: Elevator World, 1987.

- FUJIYAMA, T.; TYLER, N. Pedestrian speeds on stairs –Initial step for simulation model. In: Proceedings of 36 th Universities Transport Studies Group Conference, Life Science Centre, 2004, Newcastle upon Tyne, UK.
- FUJIYAMA T., TYLER N. Free Walking Speeds on Stairs: Effects of Stair Gradients and Obesity of Pedestrians. In: Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds) Pedestrian and Evacuation Dynamics. Springer, 2011. Boston, MA
- GALLAHUE, D. L.; OZMUN, J.C.; GOODWAY J. D. Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 487 p.
- GERHARDT, T. E. et al. Estrutura do projeto de pesquisa. In GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). Métodos de pesquisa. 1º ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. cap. 4, p. 31-42.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.
- GWYNNE, S. et al. A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. In: Building and Environment, v. 34, p. 741-749, 1999.
- GWYNNE, S. M. V; BOYCE, K. E. Engineering Data. In: Hurley M.J. et al. (eds) Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, Springer, New York, NY, Volume III, Chapter 64, 2016.
- HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. Bases biomecânicas do movimento humano. Tradução de Fernando Gomes do Nascimento. 3. ed. Barueri: Manole, 2012. 519p.
- HAMILTON, G. N.; LENNON, P. F.; O'RAW, J. Human behaviour during evacuation of primary schools: Investigations on pre-evacuation times, movement on stairways and movement on the horizontal plane. Fire Safety Journal, v. 91, p. 937-946, 2017.

- HOKUGO, A; TSUMURA, A.; MUROSAKI, Y. An investigation on proportion and capabilities of disabled people at shopping centers for fire safety. In: 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2001, Massachusetts, USA.
- HOSKINS, B. L. The effects of interactions and individual characteristics on egress down stairs. Thesis, (Doctor of Science in Fire Protection Engineering) - University of Maryland, College Park, Maryland, 2011.
- INTEGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS – IES. Simulex Technical Reference VE 2015, Glasgow, UK, 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA - INEP. Censo escolar da educação básica 2013: resumo técnico. Brasília, 2014. 39p.
- JORGE, M. H. P. M; KOIZUMI, M. S. Acidentes na infância: Magnitude e subsidios para a sua prevenção, 2010. Disponível em <<http://www.criancasegura.com.br/downloads/relatoriocriseg.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2016.
- KAFRY, D. Playng with Matches: Children and Fire. In: Fires and Human Behaviour, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1980.
- KHOLSHEVNIKOV V.V. et al. Study of children evacuation from pre-school education institutions. Fire and materials, 36. 2012a.
- KHOLSHEVNIKOV, V. V.; SAMOSHIN, D. A.; PARFENENKO A. P. Pre-school and school children building evacuation. In: 4rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2009, Cambridge, UK.
- KHOLSHEVNIKOV, V.; SAMOSHIN, D.; ISTRATOV, R. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen heath care buildings in case of fire. 5rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, Cambridge, UK. 2012b

- KLÜPFEL, H; K.; SCHRECKENBERG, T. M. M. Comparison of an Evacuation Exercise in a Primary School to Simulation Results. In: Fukui M., Sugiyama Y., Schreckenberg M., Wolf D.E. (eds) Traffic and Granular Flow'01. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003.
- KOBES M. et al. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. Fire Safety Journal, v. 45, 2010. p. 1-11.
- KORHONEN, T. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac – Technical Reference and User's Guide, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2018.
- KULIGOWSKI, E. D.; et al. Movement on Stairs During Building Evacuations. National Institute of Standards and Technology, 2015. Disponível em <https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=902502>. Acesso em 011 de Jul. 2017.
- KULIGOWSKI, E.D; PEACOCK, R. D.; HOSKINS, B. L. Review of Building Evacuation Models, 2nd ed. Technical Note 1680, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. 2010.
- KULIGOWSKI E. Computer Evacuation Models for Buildings. In: Hurley M.J. et al. (eds) Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, Springer, New York, NY, Volume III, Chapter 60, 2016.
- LÁRUSDÓTTIR, A. R. Evacuation of Children: Focusing on daycare centers and elementary schools. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. (BYG Rapport R-295), 2013.
- LÁRUSDÓTTIR, A. R.; DEDERICHS, A., 2012a. Behavioral aspects of movement down stairs during elementary school fire drills. In 5rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2012, Cambridge, UK.
- LÁRUSDÓTTIR, A. R.; DEDERICHS, A. Evacuation of children – movement on stairs and on horizontal plane. Fire Technology, 2010, 48 (1), pp. 43-53.

- LORD, J.; MARRION, C. Developments in codes around the world. Fire Protection Engineering, Cleveland, N° 19, p. 19-23, 2003. Disponível em: < http://www.sfpe.org/page/2003_Q3_2 > Acesso em: 20 dez 2015.
- MANFIO, E. F.; DAVID, A. C.; AVILA, A. O. V. Análise da marcha em crianças de 5 a 10 anos de idade. Revista de Educação Física/UEM, Maringa, v. 22, n. 2, p. 177-184, 2011.
- MARTINS, C. Antropometria, Disponível em [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2191654/mod_resource/content/1/Modulo_2- antropometria.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2191654/mod_resource/content/1/Modulo_2-antropometria.pdf). Acesso em 02 fev 2018.
- MEACHAM, B. J; TUBBS. J. S. Egress Design Solution: A guide to evacuation and crowd management planning. New Jersey: John Wiley & Sons. 2007. 530 p.
- MUYBRIDGE, E. The human figure in motion. 3 ed. London: Chapman & Hall, LD, 1907. 277p.
- NAJMANOVÁ, H, RONCHI E. An experimental data-set on pre-school children evacuation. Fire Technology, 2017, 53, pp. 1509-1533
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. Emergency Evacuation Planning Guide For People with Disabilities –. Quincy, MA, 2007.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. Life Safety Code – NFPA 101. Quincy, MA, 2012.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. The Station nightclub fire investigation status report. Washington: NIST, 2005. Disponível em: <<https://www.nist.gov/el/station-nightclub-fire-2003> >. Acesso em 8 julho 2017.
- NELSON, H. E.; MOWRER, F. W. Emergency Movement. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, 2002. Section 3, Chapter 14.
- O'CONNOR D. J. Integrating Human Behaviour Factors Into Design. Fire Protection Engineering, Cleveland, Fall, 2005. Disponível em:

<http://www.fpemag.com/archives/article.asp?issue_id=10&i=17 > Acesso em 10 jan. 2017.

ONO, R. Instrucciones para la evacuación segura de edificios escolares destinadas a la Enseñanza Básica, 2011. Relatório final de pesquisa, São Paulo, 2011.

ONO, R. O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: Uma análise crítica e proposta de aprimoramento. 457p. Tese (Livre-Docente, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

ONO, R., VALENTIN M.V., VITTORINO. F. Walking speed data off fire drills at na elementary school. In: 5rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2012, Cambridge, UK.

ONO, R.; TATEBE, K. A study on school children`s attitude towads firesafety and evacuation behaviour in Brazil and the comparison whith data from japanese children. In: 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2004, Belfast, UK.

ONO, R; VALENTIN M. V. Poster - Walking speed data of Elementary School children – A comparison of different collecting techniques aiming at a proposal of a new method Comparative In: 2017, Lund, Sweden.

ONO, R; VALENTIN M. V.; MIR N. Poster - Comparative Study of Walking Speeds of School Children In: 6rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2015, Cambridge, UK.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS- ONU. Convenção sobre os Direitos da Criança, de 20 de novembro de 1989. Disponível em: <http://www.unicef.org/brazil/pt/resources_10120.htm>. Acesso em 01 fev. 2015.

PAPALIA, D. E.; OLDS, S. W., FELDMAN, R. D. O mundo da criança- Da infância à adolescência. 11 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2009. 608p.

- PAULS, J. L. Building evacuation: Research finding and recommendations. In: Fires and Human Behaviour, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1980.
- PEACOCK, R. D.; HOSKINS, B. L.; KULIGOWSKI, E. D. Overall and local movement speeds during fire drill evacuations in buildings up to 31 stories. Safety Science, Volume 50, Issue 8, p. 1655-1664, 2012.
- PREDTECHENSKII; V. M.; MILINSKII, A. I. Planning for Foot Traffic in Building. New Delhi: Amerind Publishing, Co. Pvt. Ltd, 1978.
- PROULX, G. Occupant Behaviour and Evacuation. In: Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium, Munich, ,2001. P. 219-232
- PROULX, G. Movement of People: The Evacuation Timing. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, 2002. Section 3, Chapter 13.
- PURSER, D. A. Effects of pre-fire age and health status on vulnerability to incapacitation and death from exposure to carbon monoxide and smoke irritants in rosepark fire incident victims . In: 6rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2015, Cambridge, UK.
- RONCHI, E.; KINSEY, M. Evacuation models of the future: Insights from an online survey on user's experiences and needs. In: Proceedings of the Advanced Research Workshop: "Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations", 2011, Cantabria, Espanha.
- SÃO PAULO (Estado) Decreto Estadual N° 63.058 de 12 de dezembro de 2017. Regulamenta o Sistema de Atendimento de Emergências no Estado de São Paulo e dispõe sobre o serviço de atendimento de incêndios, desastres e outras emergências, nos termos da Lei Complementar nº 1.257, de 6 de janeiro de 2015, 2017c.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual N° 20.811 de 11 de março de 1983. Aprova especificações para instalações de proteção contra incêndios, para o fim que específica, 1983.

- SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual N° 38.069 de 14 de dezembro de 1993. Especificações para instalações de proteção contra incêndios, 1993.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual N° 46.076 de 31 de agosto de 2001. Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco para os fins da Lei n.684 de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências, 2001.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual N° 56.819 de 10 de março de 2011. Institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e estabelece outras providências, 2011.
- SÃO PAULO (Estado). Instrução Técnica nº 17 do D. E. N° 56.819/2001. Brigada de Incêndio, São Paulo, 2014.
- SÃO PAULO (Município) Decreto Municipal N° 57.776 de 7 de julho de 2017. Regulamenta a Lei nº 16.642, de 9 de maio de 2017, que aprovou o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo; define os membros da Comissão de Edificações e Uso do Solo – CEUSO, 2017b.
- SÃO PAULO (Município) Lei Municipal N° 8.16.642 de 9 de maio de 2017. Aprova o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo; introduz alterações nas Leis nº 15.150, de 6 de maio de 2010, e nº 15.764, de 27 de maio de 2013, 2017a.
- SÃO PAULO (Município) Lei Municipal N° 8.266 de 20 de junho de 1975. Aprova o Código de Obras e dá outras providências, 1975.
- SÃO PAULO (Município). Lei Municipal N° 11.228 de 25 de Junho de 1992. Estabelece o Código de Obras e Edificações e dá outras providências, 1992.
- SATYEN, L.; BARNETT, M.; SOSA, A. Effectiveness of fire safety education in primary school children. In: 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2004, London, UK.

- SEKIZAWA, A. Care of vulnerable populations: Who are vulnerable to fires and what care is needed for their fire safety? In: 3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2004, London, UK.
- SHEN, S. T. Building planning evaluation for emergency evacuation. 2003, 288f. PhD – Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachusetts, 2003.
- SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. Pesquisa científica. In GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). Métodos de pesquisa. 1º ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. cap. 2, p. 31-42.
- SRINIVASAN, G. 87 children die in school fire. Edição online do India's National Newspaper, 17 de julho de 2004. Disponível em: <http://www.thehindu.com/2004/07/17/stories/2004071707570100.htm>. Acesso em 22 mar. 2017.
- STANSFIELD, B. W. et al. Normalized speed, not age, characterizes ground reaction force patterns in 5-to 12-years old children walking at self-selected speeds. Journal of pediatric Orthopedics, Philadelphia, v. 21, p. 395-402, 2001.
- TEMPLER, J. (1995). The Staircase: Studies of hazards, falls, and safer design. MIT Press, 1995
- VALENTIM, M. V.; ONO, R. Qualidade do projeto de saídas de emergência em edificações para pessoas com deficiência. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014, Maceió. Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. p. 1943.
- VALENTIN, M. V. Saídas de Emergência em Edifícios Escolares. Dissertação (Mestre), São Paulo, Faculdade de Arquitetura de Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2008.
- VAUGHAN, C. L.; DAVIS, B. L.; O'CONNOR, J. C. Dynamics of human gait. 2. ed. Cape Town: Kiboho Publishers, 1999. 141p.

Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa

USP - ESCOLA DE ARTES,
CIÊNCIAS E HUMANIDADES
DA UNIVERSIDADE DE SÃO

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: COMPORTAMENTO DE CRIANÇAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: COLETA E ANÁLISE DOS TEMPOS DE REAÇÃO E EVACUAÇÃO

Pesquisador: MARCOS VARGAS VALENTIM

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 67629317.8.0000.5390

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.228.090

Apresentação do Projeto:

A saída segura de pessoas numa situação de incêndio é ainda uma questão que não está totalmente equacionada e nem dominada, visto que as mortes ainda persistem. Neste contexto, ainda são escassas as pesquisas relacionadas a incêndios, principalmente quando o ambiente é a escola. Assim, esta pesquisa quantitativa que será desenvolvida em três instituições escolares que abriguem o ensino fundamental I e II, constituído de edifícios, no mínimo, 3 pavimentos e, pelo menos, uma turma de cada ano, pretende produzir os dados relativos à velocidade, fluxo e densidade de crianças de diferentes faixas etárias nas seguintes situações: trechos horizontais (corredores e passagens); trechos verticais (escadas e rampas); pontos de afunilamento (por exemplo, passagem por portas); comportamento de crianças quando submetidas ao processo de abandono (tempo de pré-movimento, que engloba o reconhecimento do sinal do sistema de alarme e a resposta (reações) antes de iniciar o movimento rumo a saída. Serão realizadas análises comparativas com os dados existentes, produzidos pelos pesquisadores de outros países já citados, relativos tanto ao pré-movimento, como as velocidades de caminhada em trechos planos e em decida de escadas. Também consta no projeto que será realizado: estruturação do plano de abandono em conjunto com os responsáveis

Endereço: Av. Arlindo Bértio, nº 1000

Bairro: Ermelino Matarazzo

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-1046

CEP: 03.828-000

E-mail: cep-each@usp.br

Continuação do Parecer: 2.228.090

pelos edifícios/instituições escolares, uma vez que a grande maioria das instituições de ensino não possuem plano de abandono e não praticam simulados de abandono com seus alunos; estruturação da brigada de incêndio e treinamento dos professores e dos funcionários, com base no plano de abandono aprovado pela escola; instrução e treinamento dos alunos, quanto aos procedimentos para a realização do simulado; instalação de sistema de CFTV para a coleta dos dados de caminhamento e comportamento; instalação do sistema de RFID para a coleta de dados de caminhamento;

- Realização dos exercícios simulados (o primeiro, com aviso de data e hora do alarme; o segundo, com aviso somente da data e, o terceiro, sem aviso).

Objetivo da Pesquisa:

A pesquisa tem como objetivos:

- Identificar a velocidade de caminhamento, fluxo e densidade de crianças em trechos horizontais, escadas e passagens (portas);
- verificar os dados relativos ao risco de incêndio e sua relação com o comportamento quando submetidas a processos de abandono de edificações escolares;
- colaborar na inclusão de vários procedimentos visando a prevenção de incêndio.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos e benefícios constam nos documentos apresentados.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa é relevante tanto na área da arquitetura e edificação quanto nas questões relacionadas à saúde pública.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos foram apresentados.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Av. Arlindo Bettio, nº 1000

Bairro: Ermelino Matarazzo

UF: SP

Município: SÃO PAULO

Telefone: (11)3091-1046

CEP: 03.828-000

E-mail: cep-each@usp.br

USP - ESCOLA DE ARTES,
CIÊNCIAS E HUMANIDADES
DA UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.228.090

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_851871.pdf	15/08/2017 16:15:02		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Marcos_V_Valentim.doc	15/08/2017 16:14:36	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_Marcos_V_Valentim.doc	15/08/2017 16:14:18	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
Outros	Carta_para_EMEF_Irineu_Marinho.pdf	17/04/2017 21:18:03	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
Outros	carta_CEU_Meninos.pdf	17/04/2017 21:17:29	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
Outros	autorizacao_SESI.pdf	17/04/2017 21:16:46	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
Outros	carta_de_apresentacao.pdf	17/04/2017 21:15:04	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	10/04/2017 17:43:52	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_FAPESP.pdf	08/01/2017 19:15:59	MARCOS VARGAS VALENTIM	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO PAULO, 18 de Agosto de 2017

Assinado por:
Rosa Yuka Sato Chubaci
(Coordenador)

Endereço: Av. Arlindo Bétio, nº 1000

Bairro: Ermelino Matarazzo

UF: SP

Município: SAO PAULO

Telefone: (11)3091-1046

CEP: 03.828-000

E-mail: cep-each@usp.br

TCLE para os pais e responsáveis

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA OS PAIS E RESPONSÁVEIS

Eu, _____, RG _____, declaro saber da participação de meu/minha filho/a _____ na pesquisa intitulada: **Comportamento de Crianças em Edificações Escolares em Situação de Incêndio: Coleta e Análise dos Tempos de Reação e Evacuação Segura**, desenvolvida junto à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo sob a coordenação da Profª Dra Rosaria Ono e do pesquisador Marcos Vargas Valentim, os quais podem ser contatados/as pelo e-mail rosaria@usp.br ou valentimarq@gmail.com ou telefone (11) 2341-7734. O presente trabalho tem por objetivos: familiarizar os alunos com simulados de abandono, coletar e analisar os dados relativos a velocidade de crianças em escadas e corredores enquanto participam dos simulados de abandono. Informamos que os simulados de abandono serão filmados pelos pesquisadores, contudo as imagens oriundas das filmagens não serão utilizadas sem que a identidade dos alunos seja preservada.

Estou ciente dos riscos referentes à participação na pesquisa, que é inerente à circulação normal pelas escadas e corredores do edifício escolar, em movimento descendente, seguindo orientação dos pesquisadores, de andar no ritmo normal, sem correr, evitando acidentes.

Compreendo que os simulados de abandono têm como principal benefício treinar os alunos para agir de forma segura e ordenada, caso se faça necessário abandonar o prédio em caso de incêndio ou outra emergência.

Fico ciente que a participação de meu filho/a se dará em três simulados de abandono de incêndio (treinamento coletivo) e num exercício individual de descida de escada para coleta da velocidade sem a influência do grupo. Os pesquisadores coletarão também dados antropométricos como largura dos ombros, peso e altura dos alunos com idade até 11 anos.

Compreendo que tenho liberdade de retirar o meu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma. A qualquer momento, posso buscar maiores esclarecimentos, inclusive relativos à metodologia do trabalho.

Os/as responsáveis pela pesquisa garantem o sigilo, assegurando a privacidade dos sujeitos quanto aos dados envolvidos na pesquisa. Declaro compreender que as informações obtidas só podem ser usadas para fins científicos, de acordo com a ética na pesquisa, e que essa participação não inclui nenhum tipo de pagamento.

Caso ocorra algum dano decorrente da participação no estudo, você e seu filho ou curatelado serão devidamente indenizados, conforme determina a lei.

Estou ciente que este termo possui duas vias e uma delas ficará em poder do responsável pela pesquisa e o outro, do responsável pelo aluno.

São Paulo, _____ de _____ de 2017.

Nome do responsável	Assinatura do responsável

Endereço de contato do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
CEP da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP)
Av. Arlindo Bettio, nº 1000 – Ermelino Matarazzo – São Paulo – Capital – CEP 03.828-000
Telefone: (11) 3091-1046 – e-mail: cep-each@usp.br.

TALE para os participantes da pesquisa (TALE)

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA OS PARTICIPANTES DA PESQUISA

Concordo em participar, como voluntário/a, da pesquisa intitulada **Comportamento de Crianças em Edificações Escolares em Situação de Incêndio: Coleta e Análise dos Tempos de Reação e Evacuação Segura**, desenvolvida junto à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo sob a coordenação da Pro^{fa} Dra Rosária Ono e do pesquisador Marcos Vargas Valentim, os quais podem ser contatados/as pelo e-mail rosaria@usp.br ou valentimarq@gmail.com ou telefone (11) 2341-7734.. O presente trabalho tem por objetivos: familiarizar os alunos com simulados de abandono, coletar e analisar os dados relativos a velocidade de crianças em escadas e corredores enquanto participam dos simulados de abandono.

Minha participação consistirá em fazer parte de três simulados de abandono de incêndio (treinamento coletivo) e descer a escada sozinho/a uma vez para coleta da velocidade sem a influência do grupo. Os pesquisadores coletarão dados de largura dos ombros, o peso e altura dos alunos com idade até 11 anos.

Compreendo que esse estudo possui finalidade de pesquisa, e que os dados obtidos serão divulgados seguindo as diretrizes éticas da pesquisa, assegurando, assim, minha privacidade. Sei que posso retirar meu consentimento quando eu quiser, e que não receberei nenhum pagamento por essa participação.

Estou ciente dos riscos referentes à participação na pesquisa, que é inerente à circulação normal pelas escadas e corredores do edifício escolar, em movimento descendente, seguindo orientação dos pesquisadores, de andar no ritmo normal, sem correr, evitando acidentes.

Compreendo que os simulados de abandono têm como principal benefício treinar os alunos para agir de forma segura e ordenada, caso se faça necessário abandonar o prédio em caso de incêndio ou outra emergência.

Este termo possui duas vias e que uma delas ficará em poder do responsável e a outra, do participante.

São Paulo, _____ de _____ de 2017.

Nome do aluno	Assinatura do aluno
---------------	---------------------

Endereço para contato com o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
CEP da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP)
Av. Arlindo Béttio, nº 1000 – Ermelino Matarazzo – São Paulo – Capital – CEP 03.828-000
Telefone: (11) 3091-1046 – e-mail: cep-each@usp.br.

Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar e equações de percurso nos patamares

ESCOLA A

Figura 62: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola A

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 63: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Figura 64: Equações que descrevem os percursos MII / IIM, MMI / IMM e MEI / IEM – Escola A

$MII = IIM = \pi \left(Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Lp + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(17)
$MMI = IMM = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \frac{Le}{2} - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(18)
$MEI = IEM = \pi \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) \div 2 + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(19)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 65: Equações que descrevem os percursos EII / MIM / IIE, EMI / MMM / IME e EEI / MEM / IEE – Escola A

$EII = MIM = IIE = \pi \left(Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Lp + (Le - 2Dpc - Lc - 20 - Bd) + Va$	(20)
$EMI = MMM = IME = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \frac{Le}{2} - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(21)
$EEI = MEM = IEE = \pi (Le + Lp) \div 2 + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - (Le + Lp) + Va$	(22)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 66: Equações que descrevem os percursos EIM / MIE, EMM / MME e EEM / MEE – Escola A

$EIM = MIE = \pi \left(Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Lp + (Le - 2Dpc - Lc - 20 - Bd) + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(23)
$EMM = MME = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \frac{Le}{2} - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 3 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(24)
$EEM = MEE = \pi(Le + Lp) \div 2 + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - (Le + Lp) + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(25)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 67: Equações que descrevem os percursos EIE, EME e EEE – Escola A

$EIE = \pi \left(Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + Lp + (Le - 2Dpc - Lc - 20 - Bd) + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(26)
$EME = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 2 \frac{Le}{2} - 2 \left(\frac{Bd}{2} + 10 + \frac{Lc}{2} + Dpc + \frac{Lp}{2} \right) + 4 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(27)
$EEE = \pi(Le + Lp) \div 2 + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - (Le + Lp) + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + Va$	(28)

Fonte: Produzida pelo autor.

ESCOLA B

Figura 68: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Figura 69: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Figura 70: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo

Figura 71: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 72: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola B

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 73: Equações que descrevem os percursos MII / IIM, MMI / IMM e MEI / IEM – Escola B

$MII = IIM = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + (Lp + 2Dpc + Lc) + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + V \quad (1)$	(29)
$MMI = IMM = \pi \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) \div 2 + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} \right) - \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + V \quad (1)$	(30)
$MEI = IEM = \pi \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) \div 2 + 2Le - 2 \left(2Dpc + Lc + 10 + \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + V \quad (1)$	(31)
<p>⁽¹⁾ V: medida variável</p> <p>Para percurso no patamar 1: somar Va</p> <p>Para percurso no patamar 2: somar Vb + Vc</p> <p>Para percurso no patamar 3: somar Vd</p>	

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 74: Equações que descrevem os percursos EII / MIM / IIE, EMI / MMM / IME e EEI / MEM / IEE – Escola B

$EII = MIM = IIE = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + (Lp + 2Dpc + Lc) + (Le - 2Dpc - Lc - 20 - Bd) + V \quad (1)$	(32)
$EMI = MMM = IME$ $= \pi \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) \div 2 + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} \right)$ $- \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + V \quad (1)$	(33)
$EEI = MEM = IEE = \frac{\pi(Le + Lp)}{2} + 2Le - 2 \left(2Dpc + Lc + 10 + \frac{Bd}{2} \right) - 2(Le + Lp) + V(1)$	(34)
<p>⁽¹⁾ V: medida variável</p> <p>Para percurso no patamar 1: somar Va</p> <p>Para percurso no patamar 2: somar Vb + Vc</p> <p>Para percurso no patamar 3: somar Vd</p>	

Fonte: Produzida pelo autor

Figura 75: Equações que descrevem os percursos EIM / MIE, EMM / MME e EEM / MEE – Escola B

$EIM = MIE = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + (Lp + 2Dpc + Lc) + (Le - 2Dpc - Lc - 20 - Bd) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc \right) + V \quad (1)$	(35)
$EMM = MME = \pi \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) \div 2 + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} \right) - \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) + V \quad (1)$	(36)
$EEM = MEE = \pi \left(Le - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc + Lp + \frac{Le}{2} \right) \div 2 + 2Le - 2 \left(2Dpc + Lc + 10 + \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(Le - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc + Lp + \frac{Le}{2} \right) + V \quad (1)$	(37)
<p>⁽¹⁾ V: medida variável</p> <p>Para percurso no patamar 1: somar Va</p> <p>Para percurso no patamar 2: somar Vb + Vc</p> <p>Para percurso no patamar 3: somar Vd</p>	

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 76: Equações que descrevem os percursos EIE, EME e EEE – Escola B

$EIE = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + (Lp + 2Dpc + Lc) + (Le - 2Dpc - Lc - 20 - Bd)$ $+ 2 \left(\frac{Le}{2} - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc \right) + V \quad (1)$	(38)
$EME = \pi \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) \div 2 + 2 \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} \right)$ $- \left(\frac{Le}{2} + Lp + Dpc + \frac{Lc}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right)$ $+ 2 \left(\frac{Le}{2} - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc \right) + V \quad (1)$	(39)
$EEE = \pi \left(Le - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc + Lp + \frac{Le}{2} \right) \div 2 + 2Le - 2 \left(2Dpc + Lc + 10 + \frac{Bd}{2} \right)$ $- 2 \left(Le - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc + Lp + \frac{Le}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Bd}{2} - 10 - \frac{Lc}{2} - Dpc \right) + V \quad (1)$	(40)
<p>⁽¹⁾ V: medida variável</p> <p>Para percurso no patamar 1: somar Va</p> <p>Para percurso no patamar 2: somar Vb + Vc</p> <p>Para percurso no patamar 3: somar Vd</p>	

Fonte: Produzida pelo autor.

ESCOLA C

Figura 77: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 78: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 79: Variáveis consideradas nas equações que descrevem o percurso no patamar – Escola C

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 80: Equações que descrevem os percursos IIM / MII, IMM / MMI e IEM / MEI – Escola C

$IIM = MII = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + Lp + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + Va + Vb$	(41)
$IMM = MMI = \pi \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + (Lp + 20 + Bd) - (Le - Dpc - Lc) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + Va + Vb$	(42)
$IEM = MEI = \pi \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + Va + Vb$	(43)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 81: Equações que descrevem os percursos IIE / EII, IME / EMI e IEE / EEI – Escola C

$IIE = EII = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + Lp + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(44)
$IME = EMI = \pi \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + (Lp + 20 + Bd) - (Le - Dpc - Lc) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(45)
$IEE = EEI = \pi \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(46)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 82: Equações que descrevem os percursos MIM, MMM e MEM – Escola C

$MIM = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + Lp + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + Va + Vb$	(47)
$MMM = \pi \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + (Lp + 20 + Bd) - (Le - Dpc - Lc) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + Va + Vb$	(48)
$MEM = \pi \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + Va + Vb$	(49)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 83: Equações que descrevem os percursos MIE / EIM, MME / EMM e MEE / EEM – Escola C

$MIE = EIM = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + Lp + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(50)
$MME = EMM = \pi \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + (Lp + 20 + Bd) - (Le - Dpc - Lc) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(51)
$MEE = EEM = \pi \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + Va + Vb$	(52)

Fonte: Produzida pelo autor.

Figura 84: Equações que descrevem os percursos EIE, EME e EEE – Escola C

$EIE = \pi \left(\frac{Bd}{2} + 10 \right) + Lp + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(53)
$EME = \pi \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + (Lp + 20 + Bd) - (Le - Dpc - Lc) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(54)
$EEE = \pi \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + 2 \left(Le - Dpc - \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} \right) - 2 \left(\frac{Lp}{2} + 10 + \frac{Bd}{2} \right) + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) - \frac{Bd}{2} - 10 + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + \left(\frac{Le}{2} - \frac{Dpc}{2} - \frac{Lc}{2} \right) + \frac{Lc}{2} - 10 - \frac{Bd}{2} + Va + Vb$	(55)

Fonte: Produzida pelo autor.

Parâmetros estatísticos relativos às velocidades para as Escolas A, B e C.

Tabela 32: Dados estatísticos relativos aos lances – Escola A

Parâmetro	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Mínimo	0,33	0,38	0,45	0,48	0,51
1º Quartil	0,62	0,65	0,73	0,70	0,73
Mediana	0,75	0,77	0,83	0,78	0,80
3º Quartil	0,89	0,87	0,95	0,92	0,88
Máximo	1,38	1,31	1,38	1,29	1,17
Percentil - 5%	0,46	0,48	0,60	0,58	0,61
Percentil - 10%	0,50	0,56	0,64	0,62	0,64
Percentil - 15%	0,56	0,59	0,67	0,65	0,68
Percentil - 85%	0,97	0,93	1,00	0,97	0,93
Percentil - 90%	1,00	0,98	1,07	1,02	0,96
Percentil - 95%	1,07	1,08	1,15	1,17	1,01

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Tabela 33: Dados estatísticos relativos aos lances – Escola B

Parâmetro	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Mínimo	0,36	0,47	0,36	0,50	0,55
1º Quartil	0,57	0,69	0,66	0,74	0,81
Mediana	0,64	0,80	0,79	0,83	0,96
3º Quartil	0,70	0,95	0,93	0,96	1,13
Máximo	0,95	1,47	1,45	1,46	1,60
Percentil - 5%	0,45	0,59	0,54	0,60	0,66
Percentil - 10%	0,48	0,62	0,58	0,66	0,70
Percentil - 15%	0,51	0,65	0,61	0,70	0,73
Percentil - 85%	0,76	1,03	1,05	1,08	1,18
Percentil - 90%	0,79	1,07	1,13	1,13	1,25
Percentil - 95%	0,87	1,13	1,24	1,25	1,33

Fonte: Dados coletados em campo

Tabela 34: Dados estatísticos relativos aos lances – Escola C

Parâmetro	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Mínimo	0,38	0,36	0,53	0,49	0,45
1º Quartil	0,61	0,81	0,79	0,74	0,84
Mediana	0,71	0,94	0,92	0,85	0,99
3º Quartil	0,86	1,05	1,04	0,98	1,12
Máximo	1,36	1,38	1,48	1,35	1,42
Percentil - 5%	0,47	0,66	0,65	0,63	0,68
Percentil - 10%	0,51	0,72	0,71	0,66	0,74
Percentil - 15%	0,54	0,75	0,74	0,69	0,78
Percentil - 85%	0,94	1,11	1,12	1,06	1,19
Percentil - 90%	1,01	1,14	1,16	1,11	1,22
Percentil - 95%	1,11	1,21	1,23	1,16	1,26

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Tabela 35: Dados estatísticos relativos aos patamares – Escola A

Parâmetro	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Mínimo	0,27	0,44	0,40	0,48	0,53
1º Quartil	0,65	0,69	0,84	0,76	0,78
Mediana	0,81	0,82	0,97	0,87	0,90
3º Quartil	0,95	0,94	1,13	1,04	1,03
Máximo	1,39	1,33	1,41	1,41	1,26
Percentil - 5%	0,49	0,57	0,71	0,60	0,65
Percentil - 10%	0,53	0,62	0,76	0,65	0,69
Percentil - 15%	0,59	0,65	0,78	0,68	0,71
Percentil - 85%	1,05	1,04	1,20	1,11	1,07
Percentil - 90%	1,10	1,07	1,23	1,16	1,11
Percentil - 95%	1,17	1,18	1,30	1,23	1,16

Fonte: Dados coletados em campo

Tabela 36: Dados estatísticos relativos aos patamares – Escola B

Parâmetro	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Mínimo	0,41	0,42	0,54	0,61	0,64
1º Quartil	0,63	0,82	0,81	0,88	0,96
Mediana	0,75	1,00	0,93	0,99	1,09
3º Quartil	0,95	1,20	1,09	1,15	1,29
Máximo	1,53	1,71	1,50	1,60	1,74
Percentil - 5%	0,49	0,61	0,66	0,76	0,79
Percentil - 10%	0,54	0,67	0,75	0,79	0,85
Percentil - 15%	0,58	0,75	0,79	0,82	0,87
Percentil - 85%	1,07	1,24	1,19	1,24	1,41
Percentil - 90%	1,12	1,33	1,28	1,28	1,45
Percentil - 95%	1,26	1,41	1,36	1,41	1,53

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Tabela 37: Dados estatísticos relativos aos patamares – Escola C

Parâmetro	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Mínimo	0,60	0,44	0,78	0,74	0,63
1º Quartil	0,96	1,02	1,15	1,01	1,06
Mediana	1,11	1,23	1,29	1,13	1,20
3º Quartil	1,24	1,46	1,47	1,30	1,35
Máximo	1,67	1,71	1,78	1,56	1,57
Percentil - 5%	0,77	0,79	0,93	0,83	0,83
Percentil - 10%	0,82	0,90	0,99	0,90	0,90
Percentil - 15%	0,86	0,96	1,06	0,94	0,97
Percentil - 85%	1,33	1,53	1,56	1,37	1,39
Percentil - 90%	1,38	1,59	1,63	1,39	1,41
Percentil - 95%	1,54	1,67	1,69	1,43	1,50

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráficos com a frequência de trajeto percorrido, agrupado por ano para cada escola.

ESCOLA A

Gráfico 42: Trajeto percorrido nos patamares – Todas os anos – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 34: Trajeto percorrido nos patamares – 1º ano – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 43: Trajeto percorrido nos patamares – 2º ano – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 44: Trajeto percorrido nos patamares – 3º ano – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 45: Trajeto percorrido nos patamares – 4º ano – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 46: Trajeto percorrido nos patamares – 5º ano – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

ESCOLA B

Gráfico 47: Trajeto percorrido nos patamares – Todos os anos – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 48: Trajeto percorrido nos patamares – 1º ano – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 49: Trajeto percorrido nos patamares – 2º ano – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 50: Trajeto percorrido nos patamares – 3º ano – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 51: Trajeto percorrido nos patamares – 4º ano – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 52: Trajeto percorrido nos patamares – 5º ano – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

ESCOLA C

Gráfico 53: Trajeto percorrido nos patamares – Todos os anos – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 54: Trajeto percorrido nos patamares – 1º ano – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 55: Trajeto percorrido nos patamares – 2º ano – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 56: Trajeto percorrido nos patamares – 3º ano – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 57: Trajeto percorrido nos patamares – 4º ano – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 58: Trajeto percorrido nos patamares – 5º ano – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Relação entre velocidade média (m/s) nos lances e IMC - Gráficos

ESCOLA A

Gráfico 59: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano A -Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 60: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC -1º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 61: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 62: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 63: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 64: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 65: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 66: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 67: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 68: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

ESCOLA B

Gráfico 69: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 70: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 71: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 72: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 73: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 74: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 75: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 76: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 77: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

ESCOLA C

Gráfico: 78 Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 79: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 1º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 80: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 81: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 2º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 82: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 83: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 3º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 84: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 85: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 4º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 86: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 87: Relação entre a velocidade média (m/s) e IMC - 5º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Relação entre medida bideltóide e velocidade média (m/s) nos lances - Gráficos

ESCOLA A

Gráfico 88: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 1º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 89: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 1º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 90: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 2º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 91: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 2º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 92: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 3º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 93: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 3º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 94: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 4º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 95: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 4º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 96: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 5º ano A – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 97: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 5º ano B – Escola A

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

ESCOLA B

Gráfico 98: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) - 1º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 99: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) –1º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 100: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 2º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 101: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 102: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 103: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 104: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 105: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano A – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 106: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano B – Escola B

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

ESCOLA C

Gráfico 107: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 1º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 108: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 1º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 109: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 2º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 110: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 2º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 111: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 112: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 3º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 113: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 114: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 4º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 115: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano A – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.

Gráfico 116: Medida bideltóide x velocidade média (m/s) – 5º ano B – Escola C

Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados coletados em campo.