



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Tecnologia

Rafael Sanches Rocha

**Rede *ad hoc* em desastres naturais: especificação e
simulação de uma solução baseada em *smartphones* para
localização das vítimas**

Limeira
2020

Rafael Sanches Rocha

Rede *ad hoc* em desastres naturais: especificação e simulação de uma solução baseada em *smartphones* para localização das vítimas

Dissertação apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia, na área de Sistemas de Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. André Leon Sampaio Gradvohl

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida por Rafael Sanches Rocha e orientada pelo Prof. Dr. André Leon Sampaio Gradvohl.

Limeira
2020

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

R582r Rocha, Rafael Sanches, 1987-
Rede *ad hoc* em desastres naturais : especificação e simulação de uma solução baseada em *smartphones* para localização das vítimas / Rafael Sanches Rocha. – Limeira, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: André Leon Sampaio Gradvohl.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Redes ad hoc (Redes de computadores). 2. Simulação de eventos discretos. 3. Catástrofes naturais. 4. Busca e resgate. 5. Smartphones. I. Gradvohl, André Leon Sampaio, 1973-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Ad hoc network in natural disasters : specification and simulation of a smartphone-based solution to locate victims

Palavras-chave em inglês:

Ad hoc networks (Computer networks)

Discrete-event simulation

Natural disasters

Search and rescue

Smartphones

Área de concentração: Sistemas de Informação e Comunicação

Titulação: Mestre em Tecnologia

Banca examinadora:

André Leon Sampaio Gradvohl [Orientador]

José Luís Zem

Helcio Wagner da Silva

Data de defesa: 07-07-2020

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-6026-1542>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4888970877170213>

FOLHA DE APROVAÇÃO

Abaixo se apresentam os membros da comissão julgadora da sessão pública de defesa de dissertação para o Título de Mestre em Tecnologia na área de concentração de Sistemas de Informação e Comunicação, a que submeteu o aluno Rafael Sanches Rocha, em 7 de julho de 2020 na Faculdade de Tecnologia – FT/UNICAMP, em Limeira/SP.

Prof. Dr. André Leon Sampaio Gradvohl
Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. José Luís Zem
FATEC – Americana

Prof. Dr. Helcio Wagner da Silva
UFERSA

Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria de Pós Graduação da FT.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, pelos desafios com os quais me fortaleceu, pelas realizações que me concedeu e pelos novos planos que me trouxe.

Agradeço aos meus pais, César e Denise, pelo apoio irrestrito para que eu pudesse trilhar o caminho da educação. À minha mãe, pelo carinho e dedicação nas tarefas do lar, o que me privilegiou para que eu pudesse focar em minhas atividades acadêmicas. Ao meu pai, pelos conselhos, disposição para me auxiliar sempre que necessário e pelas chuvas que tomou comigo para realizar algumas medições desse trabalho. Sem vocês, não teria conseguido.

Agradeço ao meu orientador, André Leon Sampaio Gradvohl, por ter aberto para mim o caminho da pós-graduação. Mais ainda por tê-lo mantido aberto diante das dificuldades e imprevistos. Sempre solícito, sua disposição e senso de compromisso foram fundamentais para eu chegar até aqui.

Agradeço à minha namorada, Jainara Silva Rodrigues, pelo companheirismo, paciência e compreensão diante das ausências. Esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis desse trajeto, e sempre foi uma fonte de confiança e apoio.

Agradeço a toda experiência compartilhada junto aos colegas da pós-graduação. Ao Matheus Bernardelli de Moraes, pelas diversas disciplinas e trabalhos que dividimos, e principalmente ao Guilherme Almeida Zeni, que mais do que um colega de curso, pelo seu exemplo de dedicação e empatia – e depois de vários almoços e conversas no Bar da Praia – virou um amigo para a vida.

Agradeço à Amazon pelos créditos de uso da AWS cedidos ao grupo de pesquisa HighPIDS, o que permitiu a condução de parte das simulações desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

A ocorrência de desastres naturais costuma causar vítimas e danos na infraestrutura de comunicação. Sem uma comunicação funcional, os socorristas enfrentam maior dificuldade para localizar e atender as vítimas. Esse trabalho propõe uma solução para esse cenário baseado no estabelecimento de uma rede *ad hoc* composta pelos *smartphones* dos cidadãos e dos socorristas. Essa solução é modelada integralmente em uma ferramenta própria desenvolvida para simular uma região de desastre natural conforme o interesse desse estudo. Nessa ferramenta são implementadas as características da região afetada, modelos de mobilidade para os nós, e os elementos da aplicação responsável por gerenciar as trocas de mensagens entre os nós. A ferramenta fornece como saída um conjunto de resultados de interesse, como latência da rede, consumo de bateria, quantidade de conexões, entre outros dados. Após 1400 simulações realizadas, identificou-se que a melhor configuração para essa aplicação é permitir que os socorristas abandonem o deslocamento para uma vítima para atender outra de maior prioridade; implemente uma prioridade na mensagem de emergência, composta com o nível de emergência da vítima e a distância dela ao socorrista, em uma proporção de 1:2; realize escaneamentos por Bluetooth e Wi-Fi Direct de 20 segundos de duração. Essa configuração se mostra a mais vantajosa para os casos simulados, diminuindo a latência da rede para a propagação das mensagens até os socorristas e atendimento de todas as vítimas. Além da melhor configuração da solução proposta, este trabalho entrega uma ferramenta de simulação que pode ser utilizada por outros pesquisadores a fim de estender esse estudo. É possível implementar novos modelos de mobilidade e configurações para a aplicação com a finalidade de promover o desenvolvimento de um *benchmark* de soluções baseadas em redes *ad hoc* compostas por *smartphones* para atendimento de vítimas em desastres naturais.

Abstract

The occurrence of natural disasters usually causes victims and damage to the communication infrastructure. Without functional communication, rescuers face greater difficulty in locating and providing care for victims. This work proposes a solution for this scenario based on the establishment of an ad hoc network based on the smartphones of citizens and rescuers. According to the interest of this study, we modeled the proposed solution on a tool developed to simulate a region of a natural disaster. In the proposed tool, we implemented the features of the affected region, the mobility models for nodes, and the elements of the application responsible for managing the exchange of messages between nodes. The tool outputs a set of results of interest, such as network latency, battery consumption, number of connections, among other data. After 1400 simulations, we identified that the best configuration for this application is to allow rescuers to abandon the displacement to a victim to attend another one of higher priority; implement a priority in the emergency message, composed of the victim's emergency level and distance from the victim to the rescuer, in a 1:2 ratio; adopt a priority for the emergency message with a weight of 5 for the emergency level and 10 for the distance between the rescuer and the victim; perform scans via Bluetooth and Wi-Fi Direct for 20 seconds each. This configuration raised as the most recommended for the simulated cases because it reduced the network latency for the propagation of messages to the rescuers and caring for all victims. Besides, this work provides a simulation tool that can be used by other researchers in order to extend this study. It is possible to implement new mobility models and configurations for the application to promote the development of a benchmark of solutions based on ad hoc networks composed of smartphones to assist victims in natural disasters.

Lista de Figuras

2.1	Número absoluto global de mortes anuais por desastres naturais	25
2.2	Custo total global de danos por desastres naturais	26
2.3	Modelos Cliente-Servidor e <i>Peer-to-Peer</i>	28
2.4	Conexões sem fio com ponto de acesso e em modo <i>ad hoc</i>	28
2.5	Redes <i>Ad Hoc</i> e P2P	29
2.6	Taxonomia dos protocolos de roteamento <i>ad hoc</i>	31
2.7	Principais protocolos <i>ad hoc</i> em publicações científicas	32
2.8	Pilha de protocolos do Bluetooth	36
2.9	Scatternet: múltiplas <i>piconets</i>	37
2.10	Relação de funcionalidades dos aplicativos para desastres naturais.	39
2.11	Recurso <i>Safety Check</i> do Facebook	41
2.12	Comunicação pelo FireChat	41
3.1	Diagrama de blocos representando uma visão geral da simulação no Arena. . .	47
3.2	Visualização de uma simulação em MATLAB.	49
3.3	Evolução da adoção do OMNeT++ em pesquisas acadêmicas	51
3.4	Simulação no OMNeT++	52
4.1	Aplicativo: Uso pela vítima.	59
4.2	Aplicativo: Uso pelo socorrista.	60
4.3	Triagem: Níveis de emergência	61
4.4	Deslocamento do socorrista	62
4.5	Formato da mensagem de emergência	64
4.6	Casos de atualização da tabela	68
4.7	Interação dos socorristas	69
4.8	Troca de tabelas – Passo 1	70
4.9	Troca de tabelas – Passo 2	71
4.10	Troca de tabelas – Passo 3	71
4.11	Troca de tabelas: Socorristas – Caso 1	72
4.12	Troca de Tabelas: Socorristas – Caso 2	73
4.13	Troca de tabelas – Problema 1	74
4.14	Troca de tabelas – Problema 2	74
4.15	Conexões com diferentes meios	78
5.1	Grupo de variáveis – Cenário e Cidadãos.	81
5.2	Quadra alagada.	85
5.3	Quadra com escombros.	86
5.4	Grupo de variáveis – Deslocamento.	86
5.5	Grupo de variáveis – Bluetooth & <i>Wi-Fi Direct</i>	87
5.6	Grupo de variáveis – Socorristas e Vítimas.	88

5.7	Quadra com escombros.	91
5.8	Grupo de variáveis – Bateria do <i>smartphone</i>	91
5.9	Grupo de Variáveis – SBDA.	93
5.10	Área da simulação	95
5.11	Quantidade de verificações por quantidade de nós na rede.	96
5.12	Verificação do alcance de sinal	97
5.13	Matrizes de posicionamento dos nós.	98
5.14	Área da simulação: Modo <i>debug</i>	100
5.15	Painel de controle	101
5.16	Resultados – Comunicações.	103
5.17	Resultados - Bateria	104
5.18	Resultados - Vítimas.	105
5.19	Resultados – Socorristas.	107
5.20	Resultados – Agrupamento dos nós.	109
6.1	Distribuição de nós cidadãos.	115
6.2	Distribuição das vítimas.	121
6.3	Arranjos de níveis das vítimas	125
6.4	RL de tempo de simulação e segmentos de rua percorridos.	132
A.1	Desastres naturais catalogados na COBRADE.	160
B.1	Janela de configuração.	162
B.2	Janela de simulação.	163
B.3	Janela de resultados.	164
C.1	Local em que foram realizadas as medições	166
C.2	Condições climáticas testadas	166
F.1	Planta da área de teste.	172
F.2	Pontos de teste A2-B2-C2-D2	173
I.1	Modelo de mobilidade com 1 e 2 socorristas.	185
I.2	Modelo de mobilidade com 3 e 4 socorristas.	186

Lista de Tabelas

4.1	Categoria dos nós na rede.	65
5.1	Exemplo de tabela com as variáveis.	92
5.2	Métodos de simulação: Comparação.	99
6.1	Densidade: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	113
6.2	Agrupamento: Tempo de agrupamento dos nós.	114
6.3	Vizinhança: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	116
6.4	Carga: Porcentagem de consumo da bateria.	117
6.5	Obstáculos: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	120
6.6	Vítimas e Socorristas: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	122
6.7	Níveis das vítimas: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	126
6.8	Tempos de atendimento por nível e mudanças de atendimento.	128
6.9	Mobilidade dos socorristas: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	130
6.10	Estimativa da eficiência do deslocamento dos socorristas.	133
6.11	Wi-Fi e Bluetooth: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	136
6.12	Wi-Fi e Bluetooth: Quantidade de conexões.	138
6.13	Tempos de escaneamentos: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	139
6.14	Nós da rede: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	142
6.15	Alteração da vítima: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	143
6.16	Alteração da Vítima: Mudança e ordem de atendimento.	144
6.17	Prioridade da mensagem: Tempo de propagação e atendimento (segundos).	145
6.18	Relação de variáveis adotadas e recomendadas.	147
C.1	Smartphones usados nos testes.	165
D.1	Wi-Fi: Medições de sinal (MB/s).	167
E.1	Bluetooth: Medições de sinal (MB/s).	168
F.1	Wi-Fi: Medições com barreiras.	169
G.1	Tempo para conexão (segundos).	174
H.1	Bateria: Tempo de duração (minutos).	176

Lista de Abreviações e Siglas

AODV	<i>Ad hoc On-Demand Distance Vector</i>
AP	<i>access point</i>
apps	aplicativos para <i>smartphones</i>
AWS	Amazon Web Services
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
DMG	<i>Directional Multi-Gigabit</i>
DTN	<i>Delay Tolerant Network</i>
ERB	Estações Rádio Base
GO	<i>group owner</i>
GPS	Global Positioning System
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
mAh	miliampère-hora
MANET	<i>Mobile Ad Hoc Network</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OR	<i>Opportunistic Routing</i>
P2P	<i>Peer-to-Peer</i>
PMP	<i>Participant in Multiple Piconet</i>
RWP	<i>Random Waypoints</i>
SBDA	<i>Smartphone based Disaster Application</i>
SED	Simulação de Eventos Discretos
SIG	Bluetooth <i>Special Interest Group</i>
SPAN	<i>Smartphone Ad Hoc Network</i>

UNDRR	<i>United Nations Office for Disaster Risk Reduction</i>
VANET	<i>Vehicular ad-hoc network</i>
Wi-Fi P2P	<i>Wi-Fi Peer-to-Peer</i>
WLAN	<i>wireless local area networks</i>
WPAN	<i>wireless personal area networks</i>

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Motivação	18
1.2	Hipótese	19
1.3	Objetivos	20
1.4	Estrutura do Texto	21
2	Referencial Teórico	22
2.1	Desastres Naturais	22
2.1.1	Classificação de Desastres	23
2.1.2	Vítimas dos Desastres	24
2.1.3	Impactos na Infraestrutura de Comunicação	25
2.2	Redes de Comunicação de Dados	27
2.2.1	Arquitetura e Terminologia	27
2.2.2	Redes Ad Hoc	29
2.2.3	Meios de Transmissão Sem Fio	35
2.3	Soluções de Comunicação em Desastres Naturais	39
2.3.1	Aplicações Disponíveis	39
2.3.2	Propostas Acadêmicas	42
2.3.3	Ferramentas de Simulação	44
2.4	Considerações do Capítulo	45
3	Investigação de Propostas para Simulação Computacional	46
3.1	Arena	46
3.2	Matlab	48
3.3	OMNeT++	50
3.4	Opção pelo Desenvolvimento de um Simulador	54
3.5	Considerações do Capítulo	55
4	Solução Proposta para Comunicação das Vítimas	57
4.1	Aplicativo	58
4.2	Níveis de Emergência	61
4.3	Prioridade da Vítima	62
4.4	Formato da Mensagem	64
4.5	Envio e Repasse da Mensagem	65
4.6	Busca por Nós	75
4.7	Considerações do Capítulo	78

5	Ferramenta de Simulação de Redes Ad Hoc Baseadas em <i>Smartphones</i> para Ocorrências de Desastres Naturais	80
5.1	Variáveis de Entrada	81
5.1.1	Cenário e Cidadãos	81
5.1.2	Velocidade de Deslocamento	86
5.1.3	Sinais Bluetooth e Wi-Fi Direct	87
5.1.4	Socorristas e Vítimas	88
5.1.5	Bateria do Smartphone	91
5.1.6	SBDA	93
5.2	Ambiente da Simulação	94
5.2.1	Área de Simulação	94
5.2.2	Painel de Controle	100
5.3	Resultados da Simulação	102
5.3.1	Comunicações	102
5.3.2	Bateria	104
5.3.3	Tempos	105
5.3.4	Socorristas	107
5.3.5	Agrupamento dos Nós	108
5.4	Considerações do Capítulo	109
6	Casos de Teste e Resultados	111
6.1	Densidade da Área	112
6.2	Mobilidade dos Cidadãos	115
6.3	Regiões Alagadas e com Escombros	119
6.4	Quantidade e Posicionamento das Vítimas e Socorristas	121
6.5	Nível de Emergência das Vítimas	125
6.6	Mobilidade dos Socorristas	129
6.7	Bluetooth e Wi-Fi	134
6.8	Tempos de Escaneamento	138
6.9	Nós de Composição da Rede	141
6.10	Alteração da Vítima	143
6.11	Prioridade da Mensagem	144
6.12	Considerações do Capítulo	146
7	Conclusões	149
7.1	Trabalhos Futuros	150
	Referências bibliográficas	152
A	COBRADE	159
B	Janelas do Simulador	161
C	Metodologia da Medição dos Sinais	165
D	Medições de Sinal Wi-Fi	167
E	Medições de Sinal Bluetooth	168
F	Medições com Barreiras	169

G	Medições do Tempo de Conexão	174
H	Medições da Carga da Bateria	175
I	Modelo de Mobilidade dos Socorristas	177

Capítulo 1

Introdução

A evolução da Internet trouxe grandes mudanças na forma das pessoas se comunicarem. Porém, foi a sua integração com a telefonia móvel, em sua terceira geração (3G) no início desse século, que contribuiu para interligar as pessoas de modo instantâneo, de qualquer lugar e com baixo custo. Dessa forma, difundiu-se o acesso à informação e comunicação em grande parte do mundo, tornando a sociedade atual amplamente conectada.

No Brasil, por exemplo, há uma cobertura do sinal 4G estimada para 97,2% da população (TELECO, 2020), sendo que cerca de 77,1% possui um telefone móvel pessoal, e 94,6% utiliza para acessar a Internet (IBGE, 2018). A preferência pelo uso do *smartphone* para tarefas pessoais têm crescido cada vez mais. Em 2016, foi registrado pela primeira vez que o uso da Internet por meios móveis ultrapassou o uso por computadores (STAT COUNTER, 2016). Estima-se que no Brasil um usuário gaste em média mais de 4 horas por dia no acesso a Internet pelo *smartphone* (WE ARE SOCIAL, 2019).

Essa presença digital da população por meio móvel promoveu uma ascensão dos aplicativos para *smartphones* (apps). Recentemente, o poder público tem demonstrado maior atenção a esse fato e tem disponibilizado uma série de serviços por meio de aplicativos. Alguns exemplos são os apps do DENATRAN (SNE e CNH Digital), Previdência Social (CTPS Digital), Ministério do Trabalho (SINE Fácil), Ministério da Educação (ID Estudantil), entre outros órgãos.

Uma frente de ação pública ainda pouco explorada para expansão dos meios de comunicação e interação com a sociedade é da prevenção e resposta aos desastres naturais. Algumas iniciativas descentralizadas são encontradas, como o aplicativo da Defesa Civil de Itajaí (MERKADIA SOLUÇÕES DIGITAIS, 2020), que se trata de uma fonte informativa da ocorrência de fenômenos naturais e pontos de impacto na cidade.

Porém, na ocorrência de um desastre natural mais severo que cause vítimas, a prioridade é a identificação destas e seu rápido atendimento. Isso depende da viabilidade de um canal de comunicação eficiente para solicitar o atendimento. Contudo, na ocorrência de um desastre de maior magnitude, a infraestrutura de telefonia móvel pode ser afetada, devido aos danos nas antenas, inutilizando canais e aplicativos que necessitem de acesso à rede para contato com as equipes de emergência.

Uma possível solução para esse dilema é utilizar o próprio *smartphone*, mas de uma forma menos usual: ao invés de se conectar diretamente à equipe de resgate por meio da habitual infraestrutura de telefonia móvel, é realizada uma comunicação indireta por meio de uma série de conexões diretas entre *smartphones* dos vários cidadãos do local. Essas conexões são denominadas *ad hoc*, quando dois dispositivos se comunicam diretamente entre si.

Para tanto, pode-se estabelecer uma rede *ad hoc* conhecida como *Mobile Ad Hoc Network* (MANET) (LOO; MAURI; ORTIZ, 2011). Esse tipo de rede é formada por diversos *smartphones* conectados entre si por meio de suas interfaces de comunicação sem fio. Dessa forma, os *smartphones* atuam também no roteamento, repassando as mensagens de um dispositivo para o outro e eventualmente entregando a mensagem que se originou por uma vítima para a equipe de resgate.

Especificar, implantar e analisar a eficiência de uma rede *ad hoc* não é uma tarefa simples, pois necessita de diversos dispositivos atuando no cenário proposto de forma equivalente àquela esperada em uma situação real. Ao considerar uma rede *ad hoc* definida para um cenário de desastre natural, essa análise prática fica ainda mais inviável. Por isso, estudos de redes *ad hoc* normalmente recorrem à Simulação de Eventos Discretos (SED) (LAW; KELTON, 1999), a fim de simular a rede proposta por meio de programas e códigos que busquem retratar as condições desejadas do mundo real.

Com base nessas considerações, esse trabalho propõe a especificação de uma rede *ad hoc* formada pelas pessoas de uma região atingida por um desastre natural, utilizando o dispositivo de comunicação mais presente entre a população: o *smartphone*. Essa rede é modelada para as especificidades de uma situação de emergência, fornecendo orientação aos agentes das equipes de resgate (socorristas) sobre a existência e localização das vítimas.

Essa não é uma temática inédita, já que outras pesquisas propõem estudos similares (MINAMI et al., 2014; KITADA et al., 2015). Porém, este trabalho se destaca por uma abordagem mais flexível, aproveitando todas as alternativas de meios de comunicação

disponíveis (Bluetooth e Wi-Fi Direct) diante do cenário estudado, e prezando pela preocupação em orientar os socorristas e tratar as eventuais redundâncias que ocorra na rede.

Por meio de SED, utilizando um modelo de mobilidade (ROY, 2010) adequado para a situação em estudo, a rede *ad hoc* proposta neste trabalho será simulada e analisada quanto à eficiência da utilização de diferentes meios de comunicação e orientação da locomoção dos socorristas.

Os resultados serão comparados principalmente em termos da latência na entrega dos pacotes e tempo de atendimento da vítima. Outras características serão analisadas, como a formação de MANETs e a persistência da rede, o que é relevante uma vez que a utilização de mais meios de conexão reflete em maior consumo de energia, o que reduz a duração de dispositivos constituídos de bateria.

Há outras características específicas da rede em estudo, como prioridade das mensagens e uma dinâmica de deslocamento do socorrista até a vítima. Isso também é discutido e analisado neste texto, considerando os impactos na solução final.

Enfim, esse trabalho visa explorar as possibilidades de uso de *smartphones*, dispositivos versáteis quanto a diferentes formas de conexão, na constituição de uma rede *ad hoc* de emergência. Espera-se que os resultados alcançados contribuam com novas ideias e abordagens para a existente área de estudo de redes *ad hoc* aplicadas aos desastres naturais.

1.1 Motivação

A motivação geral desse trabalho reside no tema envolvido: salvamento de vítimas de desastres naturais. Pesquisas nessa área têm potencial de colaborar na preservação da vida humana, em situações críticas de alto impacto, de difícil tratamento e de preocupação global, como apresentado no Capítulo 2. Mais do que isso, a motivação é direcionada para a especificação e análise de uma solução original para auxiliar no atendimento às vítimas.

A prioridade neste trabalho é promover a rapidez na entrega da mensagem aos socorristas ao invés da persistência do nó na rede, além de buscar assertividade na orientação quanto à seleção de uma vítima e direcionamento de um socorrista para o seu atendimento.

Em uma situação de desastre natural, é fundamental a entrega rápida dos pacotes das vítimas aos socorristas. A partir do instante em que socorristas são informados sobre a

existência das vítimas, a continuidade da rede é de menor importância, pois cumpriu a sua função primária. Uma orientação ágil e correta sobre prioridades de vítimas é fundamental para auxiliar o socorrista na decisão de salvamento.

Dessa forma, o desafio enfrentado pelo trabalho que alimenta a motivação dessa pesquisa, é a possibilidade de explorar mais meios e métodos de transferência de mensagens, estabelecendo regras para agilizar a comunicação na rede e coordenar os socorristas sobre o atendimento de vítimas, priorizando-as e minimizando redundâncias de atendimento, alcançando uma solução eficiente para o cenário em estudo.

Além da possibilidade de especificação de uma solução original, identificou-se uma lacuna para criação de uma ferramenta de simulação especializada para o cenário em estudo, o que se torna uma motivação adicional. Apesar da existência de diversas ferramentas de simulação, essas possuem recursos mais amplos, por vezes de difícil configuração para um estudo em específico, além de promover a diversificação de plataformas para estudos similares, o que dificulta a comparação de resultados. Dessa forma, com a iniciativa de desenvolvimento de uma ferramenta própria de simulação para estudos de redes *ad hoc* em desastres naturais, abre-se espaço para evolução da ferramenta e sua utilização como metodologia de comparação entre diferentes soluções propostas.

A solução desse trabalho demanda apenas o uso do *smartphone* da população, um recurso já existente, necessitando apenas da promoção da solução entre a população de uma região alvo de fenômenos naturais extremos. É uma solução de custo razoável, de nenhuma intervenção física na região, e de operacionalização imediata e simples, em contraste às soluções envolvendo *Vehicular ad-hoc network* (VANET), *drones* ou pontos de coleta e retransmissão de mensagens a serem instalados.

1.2 Hipótese

Considerando os aspectos que motivaram essa pesquisa, a hipótese a seguir foi elaborada para nortear este trabalho.

É possível especificar uma rede de comunicação *ad hoc* composta por *smartphones*, para aplicação em um cenário de desastre natural, com a finalidade de entrega de mensagens de múltiplas vítimas para múltiplos socorristas, pautada na redução da latência da entrega dos pacotes e na coordenação dos socorristas para priorização das vítimas para atendimento.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a especificação e simulação de uma solução composta por nós móveis (*smartphones*) de uma rede *ad hoc*. Essa solução representa uma aplicação para dispositivos móveis que suporta o envio, o tráfego e a entrega de mensagens de vítimas de desastres naturais para os socorristas na região. Essa comunicação é viabilizada pelo uso de diferentes meios disponíveis nos *smartphones* (e.g. Bluetooth e *Wi-Fi Direct*) e regras de prioridade de emergência para orientar rapidamente o socorrista sobre qual vítima deve atender primeiro.

Para atingir esse objetivo geral, define-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar testes com *smartphones* para mensuração de dados dos sinais Bluetooth e *Wi-Fi Direct*. Como há referências teóricas contrastantes, novas medições experimentais foram feitas para colher dados de distância de alcance, taxa de transmissão, em cenários como clima seco, chuvoso e com barreiras. Também foram realizados testes para estimar o nível de consumo da bateria em atividades de interesse desse trabalho.
- Definir os modelos de mobilidade dos cidadãos e dos socorristas. Eles determinam o padrão de mobilidade que melhor caracteriza, dentro das limitações do trabalho, o deslocamento das pessoas na ocorrência de um desastre natural. Esse também é um ponto importante para validar a solução proposta.
- Especificar uma solução para *smartphones* que permita a entrega das mensagens de vítimas para socorristas, sem informação prévia de rota entre ambos. Essa solução deve ser eficiente para a entrega rápida (baseando-se no uso do Bluetooth e *Wi-Fi Direct*), deve possuir mecanismos para mitigar ocorrências de redundância de atendimento (mais de um socorrista direcionado para a mesma vítima) e deve classificar e priorizar as vítimas, orientando os socorristas sobre qual atender. Deve ser uma ferramenta prática e de uso simples.
- Desenvolver um ambiente de simulação para testar a solução proposta. Esse ambiente deve conter todas as variáveis de interesse desse trabalho, deve permitir uma configuração prática e rápida das variáveis para comparação entre diferentes simulações. Também deve prover uma visualização de dados e resultados da simulação,

em forma de valores e gráficos, que são usados para analisar a eficiência da solução configurada para o cenário em teste.

- Selecionar casos de teste representativos para o estudo. Devido à quantidade de possibilidades de configuração, não é possível realizar todos os testes possíveis. Por isso alguns cenários de testes têm que ser especificados para atingir os interesses do trabalho e prover informações de valor para uma análise final.

1.4 Estrutura do Texto

A estrutura do restante do texto foi organizada da seguinte forma. O Capítulo 2 aborda o referencial teórico do trabalho. Inicia-se com uma seção dedicada aos desastres naturais de maiores impactos e suas consequências em relação a vítimas e danos causados. Outra seção discute as arquiteturas de redes de computadores, em especial as redes *ad hoc* e os meios de transmissão utilizados nessas redes. A última seção do Capítulo 2 menciona aplicações e estudos existentes para utilização de redes *ad hoc* em situações de desastres naturais, além das abordagens para testar essas soluções propostas.

O Capítulo 3 apresenta uma relação de ferramentas de simulação que foram investigadas para aplicação nesse trabalho, justificando a abordagem final adotada.

O Capítulo 4 apresenta uma proposta original de solução baseada em rede *ad hoc* formada por *smartphones* para apoiar a comunicação entre vítimas e socorristas em uma situação de pós-desastre. Em suas seções são apresentados e discutidos diferentes aspectos dessa solução.

O Capítulo 5 discorre sobre o desenvolvimento de uma simulação para testar a solução proposta. As seções desse capítulo apresentam as diferentes características da ferramenta desenvolvida, divididas para elencar as variáveis de entrada, os resultados de saída e a lógica da simulação.

O Capítulo 6 discute uma série de casos de testes realizados na ferramenta desenvolvida para analisar o impacto de diferentes variáveis na simulação e assim orientar para a melhor configuração da solução proposta. Em seguida, o Capítulo 7 apresenta as conclusões finais desse trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Ao final deste texto, os apêndices complementam as informações deste trabalho. Esses apêndices são constituídos de dados de diversas medições, algoritmos e imagens, entre outras informações.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Para realização dos objetivos propostos nesse trabalho, é necessária uma investigação tanto técnica quanto conceitual dos elementos relacionados a redes *ad hoc* aplicadas em desastres naturais. Assim, a Seção 2.1 apresenta uma breve análise quanto aos desastres naturais, sua classificação, as consequências e o problema gerado para o qual este trabalho visa oferecer uma solução.

Na Seção 2.2 são investigadas as definições de redes de computadores, com destaque para as redes *ad hoc*, como uma abordagem para os problemas de comunicação gerados pelos desastres naturais. Nessa seção são apresentados os conceitos, a estrutura e a composição dessas redes a fim de compreender seu funcionamento, suas vantagens e sua aplicabilidade ao problema em investigação.

Na Seção 2.3 são apresentados trabalhos relacionados. São elencadas algumas aplicações e soluções reais, construídas e disponibilizadas, que se aproximam da finalidade deste trabalho de prover uma comunicação em desastres naturais, ou servem como inspiração técnica. São também apresentados alguns trabalhos acadêmicos com propostas similares, destacando-se algumas semelhanças e diferenças. Por fim, discute-se o meio de teste dessas soluções, utilizando simulações de eventos discretos, apresentando ferramentas disponíveis e a abordagem a ser adotada nesse trabalho.

2.1 Desastres Naturais

Desastres naturais são eventos catastróficos provocados por fenômenos naturais, alheios à interferência humana, que podem ocorrer com curto espaço de previsibilidade, como alguns

minutos de antecedência no caso de terremotos e tsunamis (THE PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2005). Dependendo da intensidade do fenômeno, os desastres podem causar impactos na infraestrutura de comunicação, como rompimento de cabos e danos a antenas, além de mortes ou vítimas com ferimentos graves, que demandam atendimento médico urgente.

A seguir são apresentados os tipos de fenômenos mais comumente associados a grandes desastres naturais, e os consequentes problemas que são de interesse nesse trabalho.

2.1.1 Classificação de Desastres

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) (FURTADO et al., 2014) padroniza a terminologia referente aos possíveis desastres, em consonância com as definições do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), um centro de pesquisas de renome mundial associado à Organização Mundial da Saúde (OMS).

De acordo com o relatório anual de 2015 produzido pelo CRED (GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2016), entre os países com mais eventos reportados, observa-se uma predominância de eventos categorizados como “hidrológico” e “meteorológico” que, em soma, contribuem em grande parte para os custos de danos registrados. Os eventos registrados, por subgrupo ou tipo, que representam o maior número de mortes e vítimas foram terremotos (*earthquake*), ondas de calor (*heat wave*), deslizamentos ou corrida de massa (*landslide*), inundação ou enxurrada (*flood*), seca (*drough*) e tornados ou ciclones (*tornado/cyclone*).

No Brasil, segundo dados da UNDRR (2014), os fenômenos naturais que mais causaram desastres, por frequência e mortalidade, foram as inundações e os deslizamentos. Para maior detalhamento desses fenômenos selecionados, o Apêndice A compila a caracterização destes dentre toda a relação da COBRADE.

Esses eventos apresentam alguns pontos em comum que são de interesse desse trabalho:

- O monitoramento sobre acúmulo de massas de ar ou aumento de precipitação hídrica podem auxiliar na previsão de possíveis fenômenos naturais e sua extensão de impacto, auxiliando na previsão e emissão de alertas. Contudo, não se pode evitar a ocorrência do fenômeno, cujas consequências são de impacto imediato.
- Os eventos podem atingir grandes áreas e deixar muitas vítimas (GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2016).

- Os períodos dos eventos podem durar de horas, como os alagamentos, a dias, no caso de ciclones (HONG KONG OBSERVATORY, 2018).
- Um único evento, dependendo de sua magnitude, pode causar milhões de dólares em prejuízos (GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2016). Uma consequência comum é afetar os meios de comunicação, como antenas e cabos, justamente durante o período em que começam a surgir as primeiras vítimas.

Além desses desastres naturais, outros eventos catastróficos demonstram efeitos similares. Desastres tecnológicos são eventos catastróficos causados pela interação humana, direta ou indiretamente, seja por erro humano ou falha de um sistema desenvolvido pelo homem (SHALUF; AHMADUN; SHARIFF, 2003). Entre os desastres tecnológicos classificados pela COBRADE, há o “Colapso de edificações”, com consequências semelhantes às de um terremoto, e o “Colapso de barragens”, que se assemelharia a uma inundação ou enxurrada. Exemplos desses desastres são conhecidos da população brasileira, como o rompimento das barragens de Mariana em 2015 e de Brumadinho em 2019.

Há também outros eventos não classificados, mas que apresentam consequências que se enquadrariam nesse estudo. Em zonas de conflitos armados, principalmente áreas urbanas com presença civil, é comum haver muitas vítimas além de problemas com os meios de comunicação (BRITISH BROADCASTING CORPORATION, 2012). Esse é mais um possível caso de aplicação ou adaptação deste trabalho.

Este trabalho não se restringe a um tipo de desastre, pois não visa a modelagem de um desses fenômenos em específico, mas busca identificar e reproduzir os principais elementos envolvidos nesses cenários, como os escombros e alagamentos dificultando a locomoção, além da falta de comunicação e as vítimas.

2.1.2 Vítimas dos Desastres

Neste século, segundo o CRED (GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2016), foi registrado uma média anual de quase 200 milhões de pessoas afetadas por desastres naturais, com cerca de 75 mil mortes por ano. O perfil dos países impactados varia. A República Popular Democrática da Coreia registrou a maior proporção de população atingida (mais de 70%, por seca) e o Nepal contabilizou o maior número de mortes em um único desastre (quase 9 mil, por terremoto, em 2015).

O número de mortes tem se mantido estável desde a década de 70, de acordo com a Figura 2.1, demonstrando uma dificuldade das nações em continuar reduzindo seus impactos sobre a vida humana. Além das mortes, outro impacto secundário grave são as pessoas desabrigadas. Em 2013, desastres naturais desabrigaram mais pessoas do que guerras (GOLDENBERG, 2014).

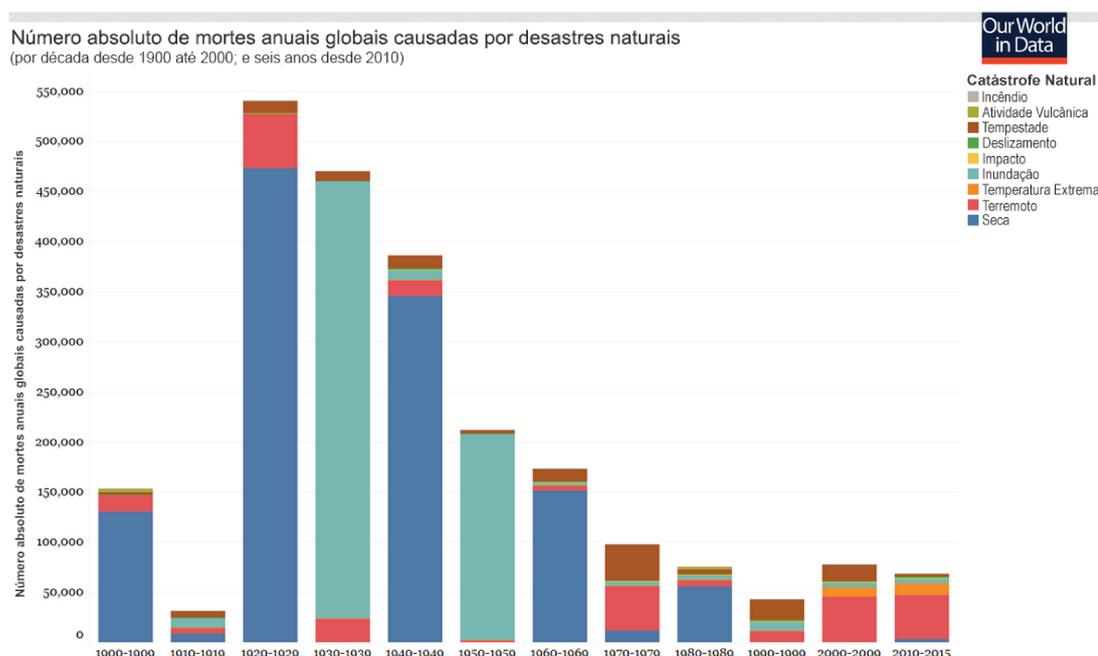


Figura 2.1: Número absoluto global de mortes anuais por desastres naturais. Fonte: Adaptada de Roser e Ritchie (2018).

Esses dados demonstram a gravidade da ameaça desses eventos para a população mundial e a atualidade do assunto, deixando o tema em pauta nas discussões globais e ocasionando a criação, em 1999, da *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNDRR). A UNDRR (antiga UNISDR) é um programa da Organização das Nações Unidas (ONU) que coordena ações e auxilia na implantação de tarefas internacionais, nacionais ou regionais para redução em perdas humanas por desastres (UNDRR, 2020).

2.1.3 Impactos na Infraestrutura de Comunicação

De acordo com o CRED, China e Estados Unidos despontam como os países com maior registro de desastres naturais e conseqüentemente com a maior soma de gastos em danos causados. Nos últimos 20 anos a média em prejuízos superou os 100 bilhões de dólares, conforme ilustra a Figura 2.2.

Custo total de danos causados por desastres naturais no mundo

Custo econômico total de danos como resultado de desastres naturais no mundo em qualquer ano, mensurado em dólares (US\$). Incluídos desastres causados por secas, inundações, epidemias biológicas, clima extremo, temperatura extrema, deslizamentos, movimentos de massa seca, impactos extraterrestres, incêndios, atividade vulcânica e terremotos.

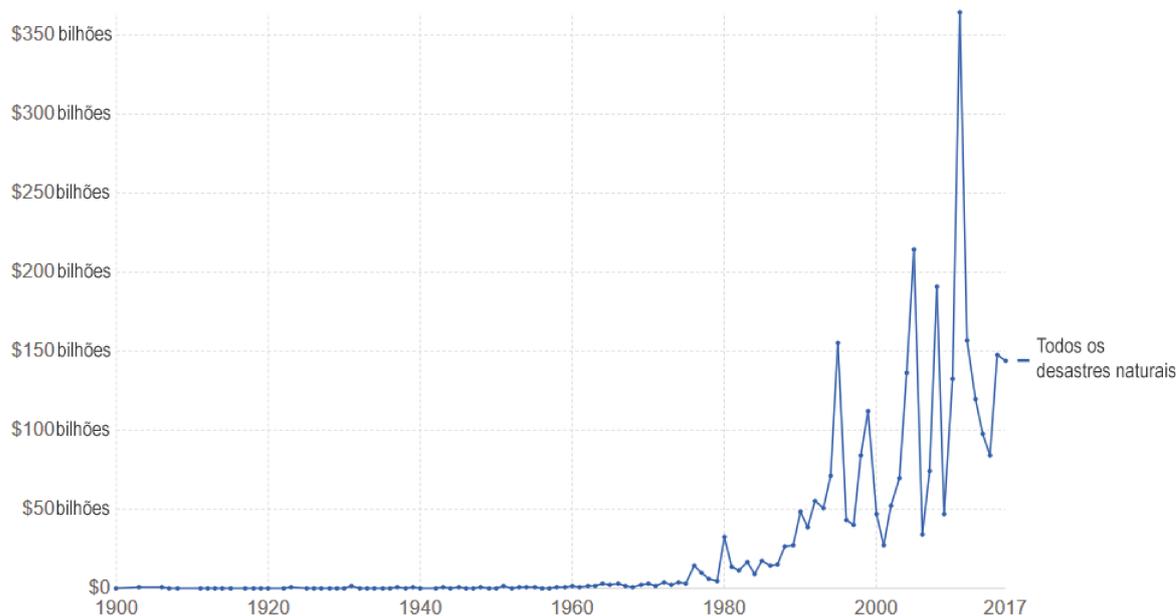


Figura 2.2: Custo total global de danos por desastres naturais. Fonte: Adaptada de Roser e Ritchie (2018).

Dentre os eventos elencados como mais comuns, seca e ondas de calor não são de impacto imediato que causem comprometimento da infraestrutura de comunicação. Portanto, não se caracterizam como eventos tratáveis pela proposta desse trabalho. Contudo, os demais eventos apresentam comportamentos que se enquadram nesse estudo.

Fenômenos com fortes ventos ou tremores de terra podem ocasionar desalinhamentos das antenas, ou mesmo danos devido aos detritos carregados pelo vento (WARGO, 2010). Um caso notório é o impacto dos Furacões Maria e Irma em Porto Rico, em setembro de 2017 (HESTER; ECHENIQUE, 2017). Além da devastação causada e dificuldades de reparo, entre os impactos destacam-se os danos provocados na rede de comunicações. Quase dois meses após o furacão a rede encontrava-se 60% operacional. Essa situação deve-se em grande parte ao impacto na rede de telefonia móvel. Segundo Alberto López (WENDEL, 2017), sismólogo da Universidade de Porto Rico, antes do furacão, a ilha dependia muito de antenas de telefonia para as comunicações, mas após esse evento estão reconsiderando a estratégia de comunicação.

Uma região que permanece em constante alerta é a costa oeste dos Estados Unidos, que é particularmente suscetível aos tremores de terra. As falhas de San Andreas e Haywarth preocupam as cidades de Los Angeles e São Francisco, devido ao acúmulo de energia e

constante apreensão quanto à possibilidade de ocorrência do popularmente chamado “*Big One*” (terremoto superior à magnitude 7 na escala Richter).

Em 1999, foi lançado um estudo probabilístico buscando prever a incidência de tremores nos próximos 30 anos (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1999). Como medida preventiva, em 2015, Los Angeles foi a primeira cidade dos Estados Unidos a aprovar uma legislação para que torres de telefonia móvel suportem fortes terremotos de maior magnitude e garantam a manutenção do serviço após a ocorrência do evento (GARCETTI, 2015), o que ainda é uma tarefa em estado inicial.

Esses fatos demonstram a vulnerabilidade das redes de telecomunicações diante de eventos naturais extremos e a necessidade de medidas alternativas de comunicação para aumentar as chances de identificação e atendimento de vítimas nessas circunstâncias.

2.2 Redes de Comunicação de Dados

A seguir são apresentados os tipos de arquiteturas de redes de dados, focando-se nas redes *ad hoc* e nos sinais sem fio Bluetooth e Wi-Fi que podem ser utilizados como meio de transmissão entre os nós dessas redes.

2.2.1 Arquitetura e Terminologia

A comunicação de dados em redes de computadores recai em grande parte sob o modelo Cliente-Servidor. É um modelo de arquitetura centralizada, onde a informação desejada está armazenada em um servidor e é acessada por computadores clientes na mesma rede, ou remotamente, pela Internet (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Em contraste a esse modelo, surgiu na década de 90 o modelo *Peer-to-Peer* (P2P), uma rede descentralizada onde a informação é compartilhada pelos pares, que atuam tanto como clientes quanto servidores de informação nessa rede. A Figura 2.3 ilustra a diferença. Enquanto na Figura 2.3-(a) todos os dispositivos, dentro e fora da rede, precisam consultar o servidor que possui a informação desejada, na Figura 2.3-(b) os dispositivos consultam uns aos outros, pois o acesso à informação está descentralizado.

Redes P2P muitas vezes são adotadas equivocadamente como sinônimo de redes *ad hoc*. A expressão *ad hoc*, do latim, significa “para essa finalidade” (subentende-se como momentânea), e é adotada em redes de computadores para indicar uma conexão direta entre

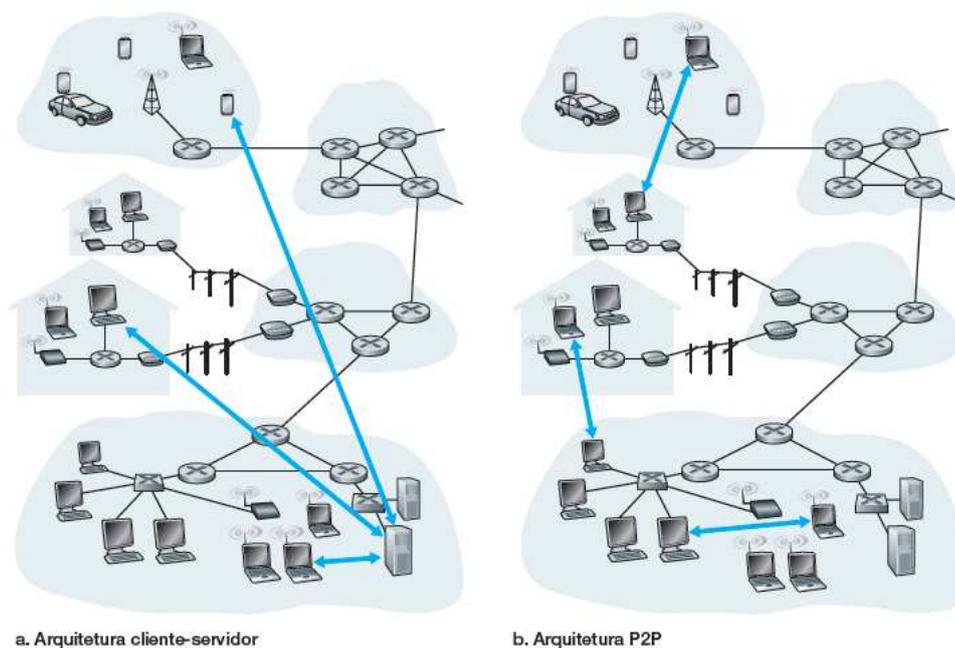


Figura 2.3: Modelos Cliente-Servidor e *Peer-to-Peer*. Fonte: Kurose e Ross (2013).

dois equipamentos, sem intermédio de dispositivos de rede, e sem a intenção de ser permanente. Há uma década, era comum a utilização de cabos cruzados (*crossover*) para a conexão entre dois computadores e a realização de transferência direta de arquivos.

Com a popularização de interfaces de rede sem fio, a criação dessas conexões entre diversos tipos de dispositivos ficou mais simples e prática. A Figura 2.4 mostra a diferença entre conexões sem fio para um ponto de acesso (Figura 2.4-(a)), atuando dessa forma como uma ponte para uma rede cabeada, e conexões sem fio diretamente entre os dispositivos (Figura 2.4-(b)), formando uma pequena rede *ad hoc*.

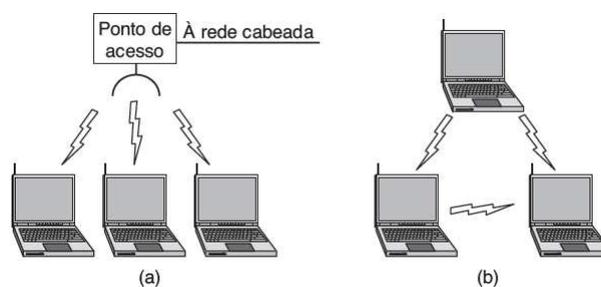


Figura 2.4: Conexões sem fio com ponto de acesso e em modo *ad hoc*. Fonte: Tanenbaum e Wetherall (2011).

Há semelhanças e diferenças entre uma rede P2P e uma rede *ad hoc*. Conforme apontado por Schollmeier, Gruber e Finkenzeller (2002), as semelhanças estão na predominância de um princípio básico de roteamento reativo por *broadcast*, na topologia dinâmica, na dificuldade

de escalabilidade, e principalmente na informação distribuída entre os dispositivos, que podem ofertar e solicitar informação aos demais. A grande diferença é que a rede P2P é uma camada virtual (controlada por software) construída sobre uma rede física e cabeada (Figura 2.5-(b)). Por isso os pares (dispositivos da rede P2P) podem estar distribuídos ao redor do mundo, enquanto os nós (dispositivos da rede *ad hoc*) estão em uma região limitada.

Outra diferença a ser destacada é que uma rede P2P é constituída sobre uma infraestrutura já existente, estabelecendo conexões lógicas diretas entre os pares. Uma rede *ad hoc* estabelece a rede física desde o princípio, pelo uso de um meio sem fio. Nesse tipo de rede, a comunicação entre nós não-vizinhos é estabelecida indiretamente, intermediada por outros nós da rede (Figura 2.5-(a)). Schollmeier, Gruber e Finkenzeller (2002) também destacam a possibilidade de roteamento proativo em redes *ad hoc*, limitado à quantidade de nós, fato que é abordado na Seção 2.2.2.

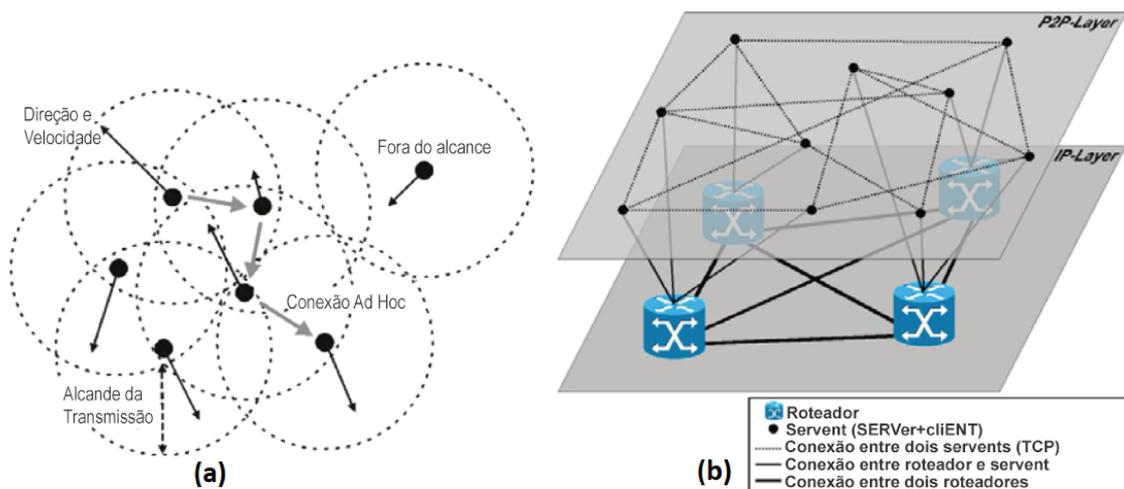


Figura 2.5: Redes (a) *Ad Hoc* e (b) P2P. Fonte: Adaptada de Schollmeier, Gruber e Finkenzeller (2002).

A grande diferença entre essas redes encontra-se na motivação de seu estabelecimento. Uma rede *ad hoc* tem por objetivo conectar usuários. O objetivo da rede P2P é o compartilhamento de informação, aumentando a disponibilidade e permitindo aos usuários encontrarem-na quando desejarem.

2.2.2 Redes Ad Hoc

Atualmente, a predominância de interfaces de rede sem fio em dispositivos móveis como *notebooks* e *smartphones* auxilia na formação de MANETs. Essas redes são constituídas por

conexões *ad hoc* cujos nós são dotados de mobilidade (LOO; MAURI; ORTIZ, 2011), seja pela falta de infraestrutura de cabos ou pela brevidade da necessidade da rede. Seu uso é sugerido, por exemplo, para operações militares ou em situações de desastres naturais. Quando as MANETs são constituídas por *smartphones* ainda podem ser chamadas de *Smartphone Ad Hoc Network* (SPAN) (MITRE, 2014).

A mobilidade dos nós causa mudanças frequentes na topologia da rede, o que torna o roteamento de pacotes um desafio, necessitando de abordagens específicas. Quando a mobilidade é elevada, aumenta o número de desconexões e frequentemente um emissor pode não encontrar uma rota para o destinatário. Nesse caso, os nós precisam de um mecanismo para preservar o pacote e reencaminhar quando houver uma rota (PILAR SALAMANCA; CAMARGO, 2016). Esses tipos de redes são denominadas Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, ou *Delay Tolerant Network* (DTN), justamente por preverem e lidarem com grandes atrasos na entrega dos pacotes. Esse é um termo frequentemente associado aos estudos e propostas de redes *ad hoc* em cenários de desastres naturais. Ao analisar redes *ad hoc*, há dois pontos merecedores de destaque: protocolos de roteamento e modelos de mobilidade.

As MANETs, por serem constituídas de aglomerações de nós, podem estabelecer rotas de um remetente até um destinatário, recorrendo aos protocolos de roteamento que definem dinamicamente as melhores rotas para cada destino. Contudo, diferente das redes cabeadas, que possuem caminhos mais estáveis e dispositivos dedicados ao roteamento, nas redes *ad hoc*, os próprios dispositivos finais atuam como roteadores. Assim, manter suas tabelas de roteamento atualizadas é uma tarefa mais desafiadora devido a mudança constante da topologia da rede (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Para auxílio nessa comunicação em condições adversas, surgiram protocolos específicos para roteamento *ad hoc*. Esses protocolos podem ser classificados em diferentes categorias, de acordo com Murthy e Manoj (2004).

- Baseados em mecanismo de atualização de informação de roteamento: protocolos proativos, onde todo nó mantém uma tabela de roteamento para toda a rede, o que gera mais tráfego na rede; ou protocolos reativos, quando os nós não mantêm tabelas de roteamento e buscam por um caminho quando é necessário.

- Baseado no uso de informação temporal para roteamento: apoiado no uso de informação temporal passada, como o histórico de rotas; ou apoiado no uso de informação temporal futura, buscando prever a mudança das rotas.
- Baseado na topologia de roteamento: topologia *flat* (plana), onde todos os nós assumem a mesma prioridade e função; ou topologia hierárquica onde é definido uma hierarquia lógica baseada em critérios que orientam o roteamento.
- Baseado na utilização de recursos: quando se utiliza de dados de consumo de energia, posição geográfica entre outros, para definir o uso ou evitar um nó.

Fundamentado nessas categorias, pode-se estabelecer uma relação dos variados protocolos de roteamento *ad hoc*. Iniciativas de diferentes classificações já foram realizadas previamente por Prasad, Umar e Padmaja (2013) e Maqbool e Peer (2010). Embora haja alguns consensos, em nem todos os aspectos as classificações se convergem. Dessa forma, na Figura 2.6 é ilustrada uma possível taxonomia dos protocolos.

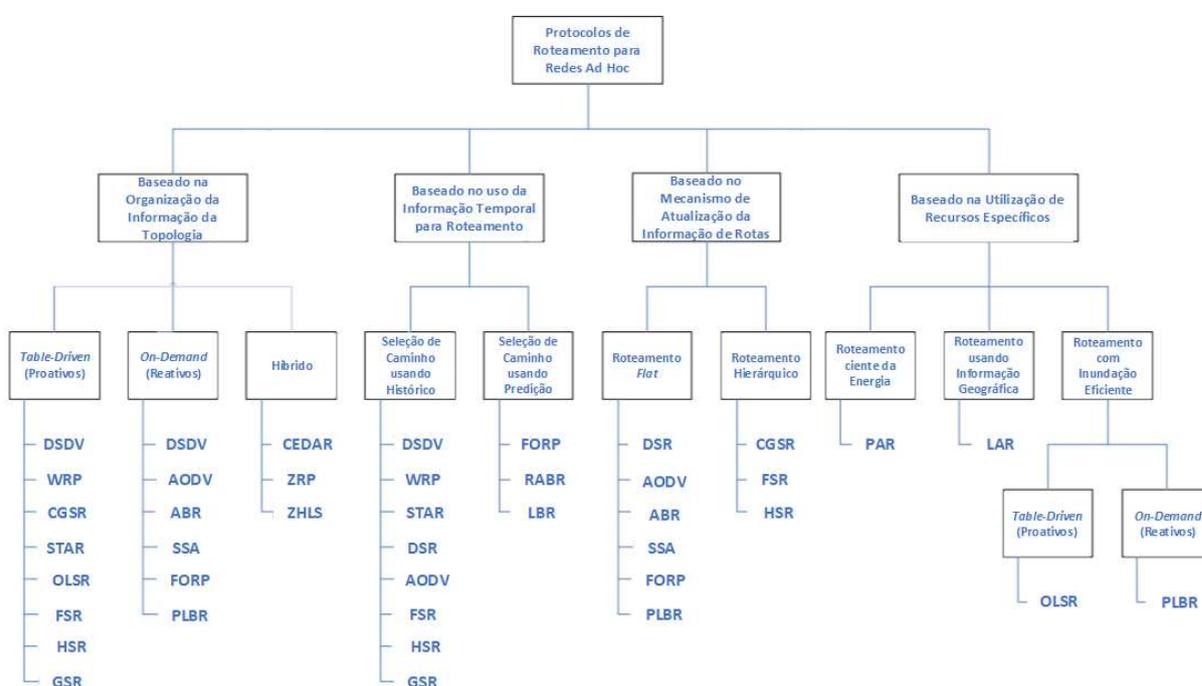


Figura 2.6: Taxonomia dos protocolos de roteamento *ad hoc*. Fonte: Murthy e Manoj (2004).

Assim, foi conduzida uma pesquisa para identificar os principais protocolos de roteamento *ad hoc* em publicações científicas e que preferencialmente fossem relacionados a aplicações em desastres naturais. A Figura 2.7 mostra o resultado dessa pesquisa.

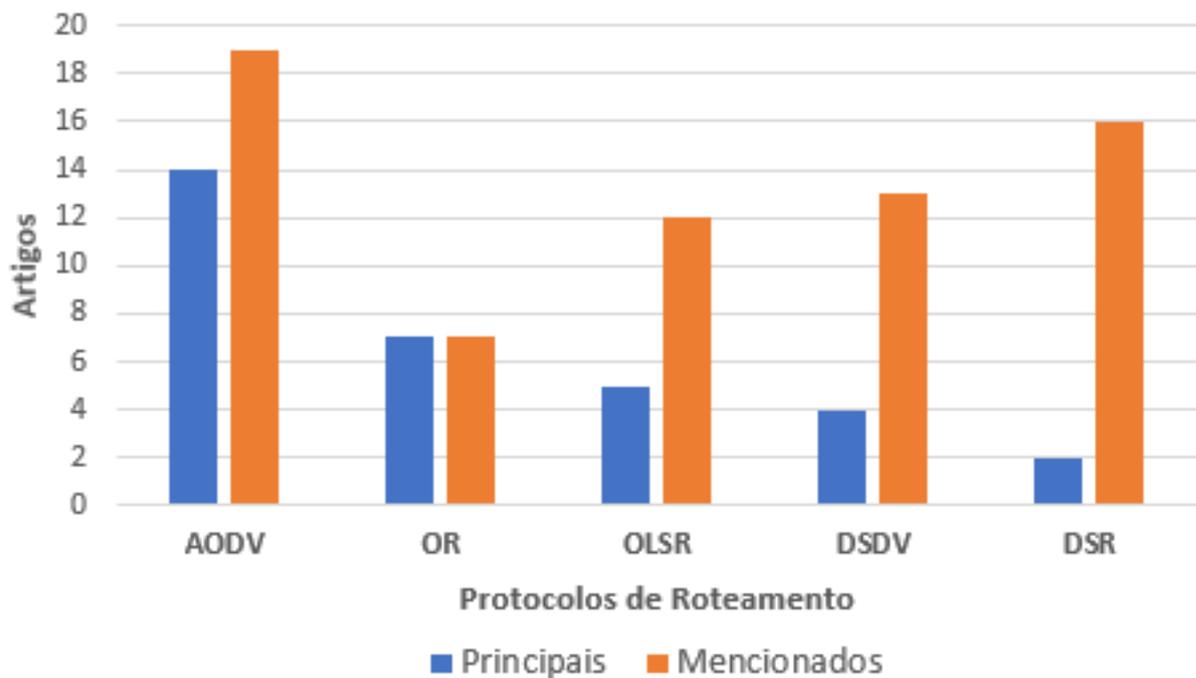


Figura 2.7: Principais protocolos *ad hoc* em publicações científicas.

A coluna em azul (“Principais”) corresponde ao número de artigos em que o protocolo está presente como parte central do estudo. A coluna em laranja (“Mencionados”) corresponde ao número de artigos em que o protocolo é apenas mencionado. Os protocolos elencados na Figura 2.7 representam os mais identificados nessas publicações, embora haja outros.

Ressalta-se que, apesar da busca envolver explicitamente o termo “*natural disaster*”, apenas uma parte dos trabalhos identificados realmente focam em uma aplicação para esse cenário. Os demais apenas mencionam essa possibilidade de aplicação.

Entre os trabalhos focados em desastres naturais, há uma tendência em classificar a rede *ad hoc* aplicada como DTN, em um cenário de *Opportunistic Routing* (OR) (KRUG; HELBIG; SEITZ, 2017; BASU et al., 2016). O protocolo *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV), que se destacou nos resultados da pesquisa, deve sua escolha a trabalhos menos focados, que adotam um cenário de MANET. Nesse tipo de rede, apesar de haver mobilidade, há maior conectividade e estabelecimento de rotas diretas entre os nós da rede.

Espera-se que uma rede *ad hoc* em uma situação de desastre natural apresente alta mobilidade e frequente desconexão entre os nós, comportando-se como uma DTN. Assim, é adequado a implantação de um protocolo de OR, com uma abordagem epidêmica, repassando as mensagens entre todos os nós e propagando a mensagem pela rede, em função da incerteza do caminho ao destinatário. Essa é a intenção da rede nesse trabalho: entregar a

mensagem para um destinatário do qual não se sabe sua localização ou rota. O comportamento de transmissão adotado na solução desse trabalho é melhor descrito no Capítulo 4.

Após a definição de uma solução de roteamento ou regras para comunicação entre os nós, é necessário testar essa proposta. Testes de soluções de redes *ad hoc* são comumente realizados por meio de simulações computacionais. Para isso, é necessário definir um modelo de mobilidade que regerá o padrão de deslocamento dos nós da rede. Esses elementos, no caso deste trabalho, são representados por *smartphones*. Porém, o modelo de mobilidade corresponde ao dos agentes por trás destes dispositivos, i. e., as pessoas. O modelo de mobilidade é definido a partir de uma abstração da realidade, selecionando e utilizando variáveis para aproximar a simulação da realidade e justificar o modelo.

Os modelos de mobilidade são componentes fundamentais de uma simulação com mobilidade, pois sua escolha influenciará nos resultados obtidos. Por isso, é importante haver uma seleção cautelosa de um modelo que caracterize mais adequadamente, dentro do possível, o cenário de estudo, se não for o caso de especificar o próprio modelo de mobilidade (LOO; MAURI; ORTIZ, 2011).

Para a simulação de MANETs e DTNs há uma grande disponibilidade de modelos de mobilidade, muitos dos quais evoluíram a partir de um modelo amplamente difundido, o *Random Waypoints* (RWP). Esse modelo ainda é base para a mobilidade de muitos estudos em redes *ad hoc* (PRAMANIK et al., 2015; WANG; LIU; KUANG, 2011).

Basicamente, o RWP determina de forma aleatória o deslocamento de cada nó da rede, definindo uma direção, distância e velocidade de deslocamento, e repetindo essa escolha após a conclusão de cada movimento. Seu algoritmo, adaptado para esse trabalho, é representado pelo modelo de mobilidade RWP Adaptado, descrito na Seção 5.1.1.

O RWP é constituído de um deslocamento simples, com alta abstração de um cenário real mais complexo. Sendo assim, muitos outros modelos são derivados deste, a fim de aprimorar alguns aspectos em busca de uma representação mais próxima do que seja de interesse em cada estudo. De acordo com Loo, Mauri e Ortiz (2011), dentre muitas possibilidades, alguns desses modelos são os seguintes:

- *Smooth Random Mobility*: O RWP é considerado “sem memória”, uma vez que a escolha do próximo passo de deslocamento é totalmente aleatória. Isso normalmente não corresponde a um padrão de deslocamento real. Dessa forma, nesse modelo, é

implementado mecanismos para que os novos deslocamentos sejam influenciados pelos anteriores. Assim, não deve haver, por exemplo, mudanças bruscas de velocidade ou mudanças constantes de direção.

- *Geographic Constraint Mobility*: O RWP define uma área aberta de deslocamento, dentre a qual os nós estão completamente livres para se movimentarem. Em uma situação real, como o deslocamento em uma cidade, há vias que limitam os caminhos pelos quais os nós podem transitar. Com base nesse princípio, modelos desse tipo limitam as regiões em que os nós podem percorrer, se aproximando de uma representação geográfica de uma área urbana com suas vias para deslocamento. O modelo adaptado nesse trabalho segue este princípio.
- *Gravity Mobility*: Inspirado na lei da gravitação universal de Newton, esse modelo determina um fator de atração e repulsão entre os nós. Basicamente, o movimento de um nó, de um ponto a outro, é diretamente proporcional à atração da área de destino e inversamente proporcional à distância que as separa. Isso coordena a atração e repulsão entre os nós e demais elementos da região simulada, como se aproximar de recursos, ou se afastar de perigos.
- *Behavioral Mobility*: esse modelo busca representar um conjunto de regras como os nós móveis reagem e são influenciados pelo meio. Isso caracterizará o comportamento de cada indivíduo, reagindo de formas distintas de acordo com diferentes condições às quais são submetidos.
- *Deterministic Mobility*: Ao contrário de processos estocásticos, ditados pela predominância da aleatoriedade, em um modelo determinístico o deslocamento é definido de antemão, de forma que seja possível prever a posição do nó em um dado momento da simulação. Isso permite a abordagem de casos específicos, em que a definição e controle dos deslocamentos é útil para análise de uma determinada situação. Há também os modelos *Partially Deterministic Mobility*, onde alguns componentes da mobilidade são determinísticos, e outros probabilísticos.

Com base nessas definições, é possível, por exemplo, determinar um modelo de mobilidade para desastres baseado no modelo de gravitação (NELSON; HARRIS III; KRAVETS, 2007), especificando uma relação de atração (socorrista) ou repulsão (cidadão) a um determinado evento (fenômeno natural).

Um modelo de mobilidade baseado em *Geographic Constraint e Behavioral*, é proposto por Stute et al. (2017), em um trabalho no qual os autores adaptam um modelo de RWP para atuar dentro de um mapa de uma cidade, onde cada nó possui um papel (civil, socorrista entre outros) e atua de forma distinta ao longo do tempo da simulação (buscando por recursos ou por vítimas). Com base nesses exemplos e na relação apresentada, define-se a mobilidade dos agentes nesse trabalho.

Em suma, representar a mobilidade em um evento de desastre natural é uma tarefa complexa e dificilmente satisfará todas os requisitos desse cenário. É preciso considerar que diferentes estudos apresentam abordagens consideravelmente distintas. Dessa forma, o modelo adotado pode ser representado de diversas maneiras, em função do que o autor deseja dar enfoque em sua simulação.

Neste trabalho, o foco é em representar um padrão de busca por vítimas coordenado entre os socorristas, alinhando com a movimentação dos cidadãos nos instantes pós-desastre, baseando em características de um modelo de restrição geográfica, e parcialmente comportamental e determinístico (para os socorristas). O modelo adotado nesse trabalho é melhor descrito no Capítulo 5.

2.2.3 Meios de Transmissão Sem Fio

A solução deste trabalho para comunicações em redes *ad hoc* com *smartphones* se apoia nas características desses dispositivos móveis. Por isso são considerados os meios de comunicação sem fio baseados em Bluetooth e *Wi-Fi Direct*.

O Bluetooth é uma especificação de padrão de tecnologia para *wireless personal area networks* (WPAN), mantida pelo Bluetooth *Special Interest Group* (SIG) que, por sua vez, é formado por diversas companhias interessadas no desenvolvimento do padrão (BLUETOOTH SIG INC., 2020a).

Em dispositivos Bluetooth de classe 2, de 2,5 mW (4 dBm), normalmente implementado em *smartphones*, o alcance do sinal é estimado entre 10 m (PADGETTE et al., 2017) e 30 m (TARKOMA et al., 2014) para o padrão Bluetooth 4.0. Contudo, o padrão Bluetooth 5.0, que começou a ser implementado em dispositivos a partir de 2018, apresenta um alcance máximo teórico de 200 m (AMAR INFOTECH, 2018).

Esse padrão é constituído por uma pilha de protocolos próprios, conforme ilustrado na Figura 2.8. Esses protocolos definem tanto a atuação de camadas mais baixas, próximas ao

hardware (pilha do controlador), quanto protocolos mais próximos da aplicação (pilha do *host*). Na pilha do controlador estão protocolos que poderiam ser associados à camada física do modelo OSI (frequência e canais de operação) e à camada de enlace (estrutura do quadro, *slots* e tempo de transmissão).

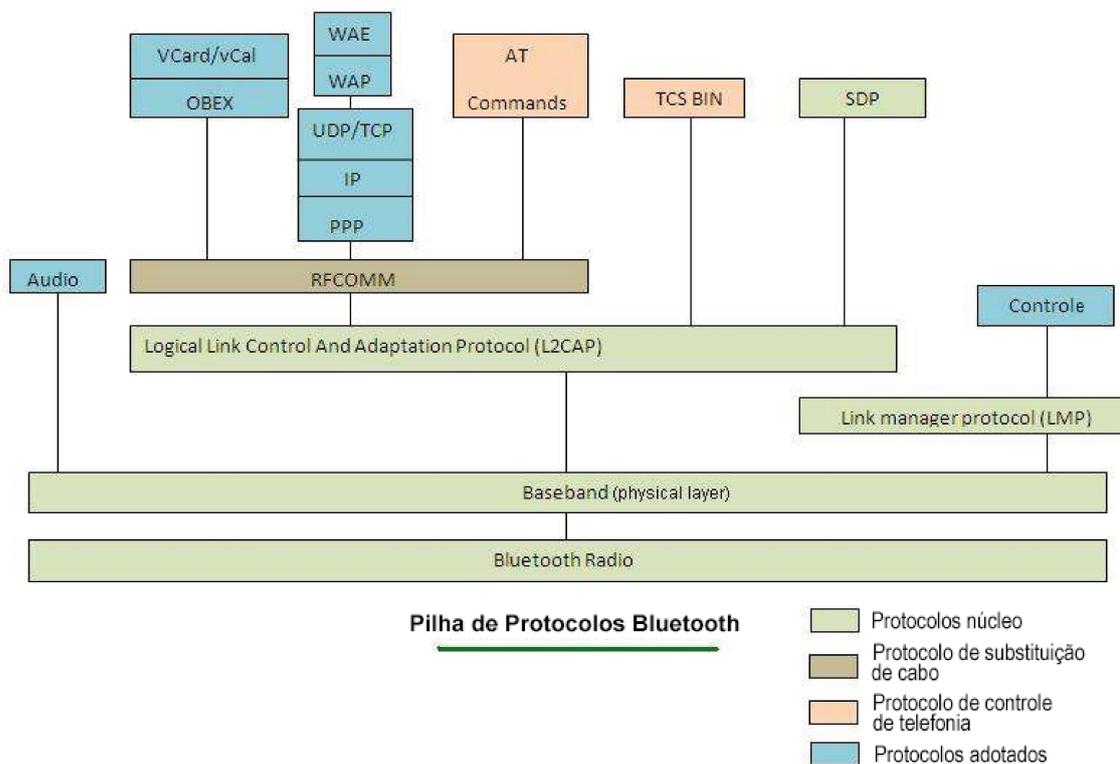


Figura 2.8: Pilha de protocolos do Bluetooth. Fonte: Adaptada de RF WIRELESS WORLD (2012).

Na pilha do *host*, se destacam os protocolos L2CAP (multiplexação para permitir diferentes aplicações usarem o mesmo meio, e fragmentação dos pacotes das camadas superiores em 64KB para o transporte) e RFCOMM (emula comunicação serial, permitindo a transmissão com diferentes dispositivos).

A pilha de protocolos implementada num dispositivo varia conforme o perfil Bluetooth associado. Existem dezenas de perfis que definem os serviços necessários para cada aplicação (BLUETOOTH SIG INC., 2020b).

Em termos de topologia, uma *piconet* é uma rede Bluetooth formada por um nó mestre e até sete nós escravos em seu raio de cobertura. Logo, o mestre é o intermediário de toda a comunicação. Um mesmo nó escravo pode participar de mais de uma *piconet*, utilizando multiplexação por tempo. Dessa forma, pode atuar como um nó ponte – *Participant in Multiple*

Piconet (PMP) – unindo as duas *piconets* e formando assim uma *scatternet* conforme ilustra a Figura 2.9.

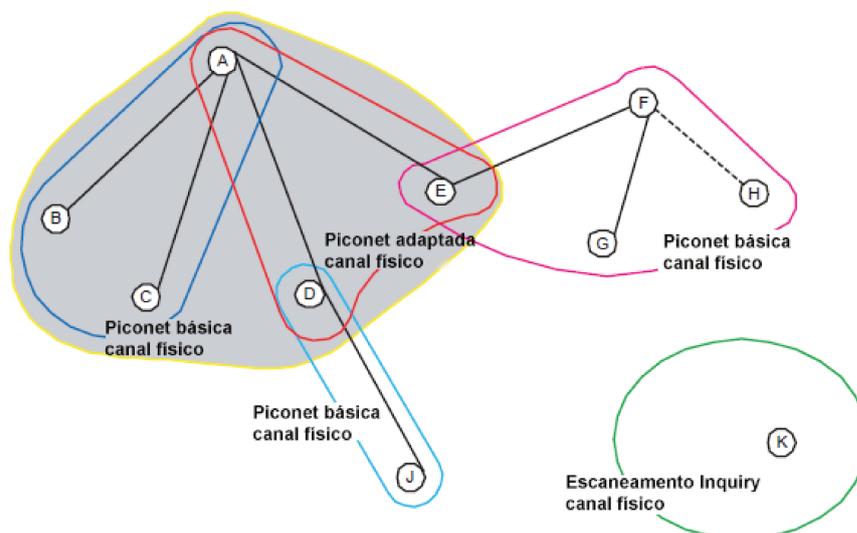


Figura 2.9: *Scatternet*: múltiplas *piconets*. Fonte: Adaptada de (BLUETOOTH SIG INC., 2010).

A conexão entre dois nós envolve os processos de *inquiry* (um dispositivo buscando por outro que esteja disponível) e *discoverable* (dispositivo disponível para descoberta por outro). Quando dois dispositivos se localizam, ocorre o pareamento (troca de *passkey* entre os dispositivos) para confirmação do estabelecimento da conexão. A formação dessas redes Bluetooth representa a viabilidade da constituição de uma rede *ad hoc* baseada nessa tecnologia.

Por outro lado, o Wi-Fi é uma especificação de padrão de tecnologia para *wireless local area networks* (WLAN), mantida pela Wi-Fi Alliance, organização responsável por estabelecer esse padrão (WIFI ALLIANCE, 2018b). Essa tecnologia de comunicação é baseada nos numerosos padrões 802.11, que por sua vez são definidos pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). O IEEE determina as bases do padrão, que pode apresentar recursos opcionais e definições ambíguas. Nesse sentido, a Wi-Fi Alliance atua para realizar a seleção dos requisitos detalhados do padrão que novos dispositivos devem implementar para que sejam certificados e se garanta a interoperabilidade (EDNEY; ARBAUGH, 2003).

O padrão 802.11 define especificações para a camada física de comunicação, estabelecendo o espectro de frequências, canais, formato de quadros (*frames*) e outros controles necessários. Há uma grande família de protocolos do padrão 802.11, que pode variar tanto pelo atendimento de uma finalidade específica, quanto pela evolução da tecnologia e o aumento da banda disponível. Entre os padrões mais adotados, e que foram

implementados nos *smartphones*, estão o 802.11b (1999), 802.11g (2003), 802.11n (2009) e 802.11ac (2013).

Para a conexão por meio do Wi-Fi, um dispositivo precisa se conectar a um ponto de acesso que proverá uma interligação a uma rede estruturada. Em 2010, a Wi-Fi Alliance publicou o *Wi-Fi Peer-to-Peer* (Wi-Fi P2P), uma tecnologia que acrescenta a possibilidade de conexões diretas entre dois dispositivos com acesso Wi-Fi, sem a necessidade de um ponto de acesso – *access point* (AP). Essa tecnologia se tornou publicamente conhecida pela certificação divulgada como Wi-Fi Direct (WIFI ALLIANCE, 2014). Desde 2011, o Google implementou os requisitos para suportar o Wi-Fi Direct no Android a partir da versão 4.0 (*API level 14*) (GOOGLE, 2020).

A distância máxima de alcance do sinal wi-fi, divulgada pela Wi-Fi Alliance, é de 200 m (WIFI ALLIANCE, 2018a). Embora, sob condições reais, como influências do meio externo e da própria variabilidade de *hardware* entre os *smartphones*, esse valor tende a cair pela metade.

A conexão pode ser tanto um-para-um, quanto um-para-muitos dispositivos. Neste último caso, a conexão corresponde à formação de um Grupo (WIFI ALLIANCE, 2016). O *group owner* (GO), comparando com o Bluetooth, seria o mestre da rede, ao qual clientes se conectam. Porém, pela documentação oficial, não são claras todas as possibilidades e limites de interação em grupos constituídos exclusivamente por *smartphones*.

Para permitir uma conexão direta entre os clientes, o GO precisa operar acima de 45 GHz – *Directional Multi-Gigabit* (DMG) –, o que não é o caso de um *smartphone*, permitindo assim somente ao *smartphone* atuar como um AP. Fica incerto se, nesse modo, o GO ainda possui capacidade de intermediar a comunicação entre os clientes associados. Pelo material oficial de divulgação (WIFI ALLIANCE, 2014) entende-se que o foco do GO é direcionado para o compartilhamento de algum serviço provido por si para os demais dispositivos.

A descoberta dos dispositivos é estabelecida pelo procedimento de *Device Discovery*, que é constituído de uma fase de *scan* (para identificar os dispositivos ao redor) e uma fase de *listen* (semelhante ao *discoverable* do Bluetooth).

Uma abordagem prática é o estabelecimento de um Wi-Fi *hotspot* pelo dispositivo. Dessa forma, permite a conexão por outro dentro do raio de alcance. Aparentemente essa é a abordagem adotada por dispositivos que operam abaixo de 45 GHz.

O Wi-Fi Direct oferece a possibilidade necessária para uma conexão direta *ad hoc* entre *smartphones*, mas as conexões por Wi-Fi apresentam consumo de energia superior ao Bluetooth. Os dados de distância máxima e tempo de escaneamento são valores teóricos

estimados, e ainda deve-se considerar que se referem a tecnologias em progresso, aplicadas em dispositivos que estão em constante evolução de *hardware*. Por isso foram realizados testes práticos para mensurar valores de alcance e consumo a serem adotados na simulação. Essas medições são apresentadas na Seção 5.1.3.

2.3 Soluções de Comunicação em Desastres Naturais

A seguir são apresentados algumas soluções disponíveis e acessíveis ao público, soluções acadêmicas divulgadas em trabalhos científicos e a metodologia de testes comumente utilizada para analisar essas soluções. Essas metodologias são baseadas em simulações com ferramentas específicas.

2.3.1 Aplicações Disponíveis

Uma preocupação deste trabalho é especificar uma solução que resulte em um sistema com uma implementação prática, útil para a população. Para auxiliar nesse objetivo, foi realizada uma pesquisa a fim de identificar algumas soluções existentes e populares em uso, que forneçam algum meio de suporte e comunicação durante e após um desastre natural. O conhecimento dessas soluções contribui para orientar o trabalho sobre o que há de existente e funcional, além das lacunas na oferta dessas tecnologias.

Em um levantamento conduzido em 2018, e ilustrado na Figura 2.10, a fim de traçar os perfis dos aplicativos para Android disponíveis na loja virtual Google Play que fossem relacionados a desastres naturais, atestou-se a falta de soluções de comunicação para essas situações.

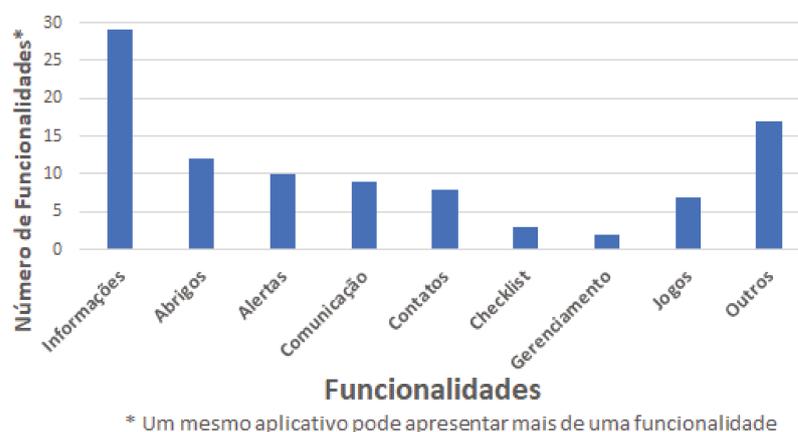


Figura 2.10: Relação de funcionalidades dos aplicativos para desastres naturais.

Os valores de *Número de funcionalidades* no eixo *y* não correspondem à quantidade de aplicativos, mas às funcionalidades existentes em cada um. Portanto, um mesmo aplicativo pode apresentar várias funcionalidades. Identificou-se uma predominância de funcionalidades puramente informativas, provendo orientações sobre os desastres. Os aplicativos que oferecem algum tipo de comunicação se baseiam em *chats* dependentes de conexão com a Internet.

Uma solução interessante e tradicional, alinhada ao uso das redes móveis, são os *Disaster Message Board*. Sua provável origem é no Japão e se trata de um serviço oferecido pelas companhias de telefonia móvel, como por exemplo a AU (KDDI, 2020) e DOCOMO (2020). Esse serviço permite que as pessoas em uma região afetada por um desastre possam gravar uma mensagem curta, para que seus amigos e familiares, que estejam tentando entrar em contato, ouçam-na e assim evite congestionamento nas linhas das operadoras. Também é possível enviar uma mensagem por SMS que fica disponível numa página na Internet para que amigos e familiares possam procurar pelo número de telefone emissor dessa mensagem e se informem a respeito da situação da pessoa, também poupando recursos da rede sobrecarregada.

Outra solução, inspirada pelo *Disaster Message Board* é o recurso *Safety Check* (*Check-in* de Segurança), anunciado pelo Facebook em 2014. Constitui-se de uma interface dentro da rede social onde é possível visualizar desastres que estejam em curso e interagir de diversas formas: caso o usuário esteja na área afetada, pode informar para seus contatos de que está seguro; pode solicitar essa confirmação de um contato que possa estar na área, para este confirmar se está seguro; caso esteja em necessidade, pode solicitar ajuda de outras pessoas; e ainda pode oferecer ajuda a outras pessoas que solicitarem. As ajudas podem ser oferecidas em forma de um abrigo, comida, roupas e de outras maneiras. O contato para o Facebook Messenger fica disponível para comunicação rápida entre quem precisa e quem oferta ajuda. Ainda é possível direcionar doações para campanhas relacionadas. A Figura 2.11 ilustra essa iniciativa.

Há também o aplicativo FireChat (OPENGARDEN, 2019) que permite estabelecer comunicações *ad hoc* entre diferentes *smartphones* para o fluxo de mensagens pessoais. Tecnicamente, se assemelha à solução proposta nesse trabalho por criar uma rede *ad hoc* permitindo comunicações por Bluetooth, Wi-Fi e ainda por pacote de dados de telefonia móvel, quando disponível, permitindo que mensagens escoem por outros dispositivos, até alcançar o destinatário. É um aplicativo popular, com mais de um milhão de *downloads*, mas

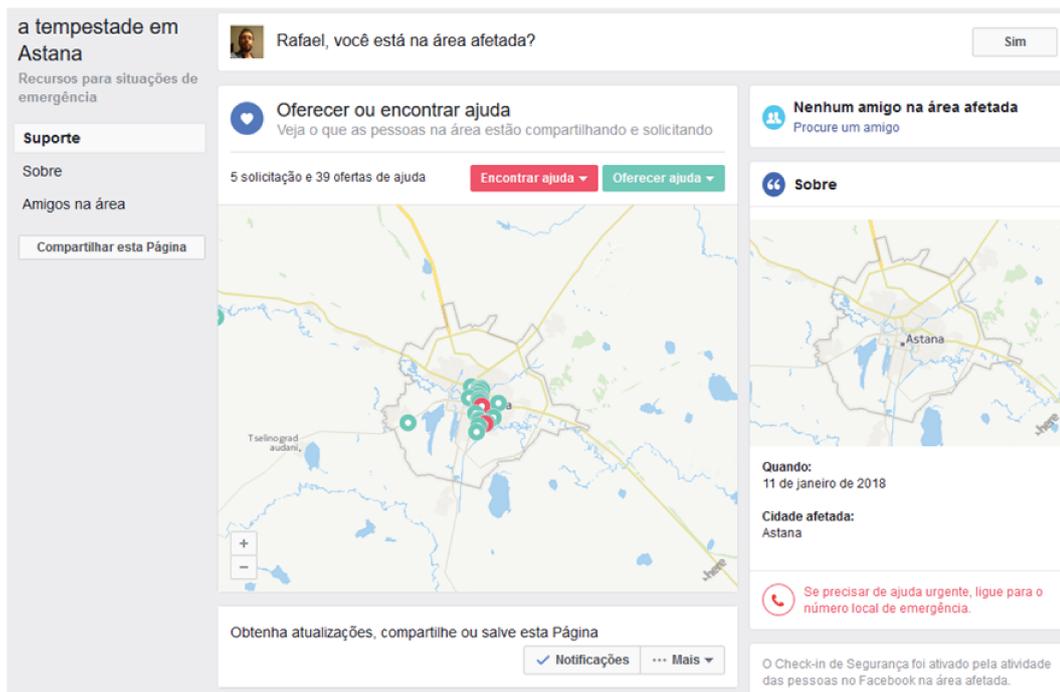


Figura 2.11: Recurso *Safety Check* do Facebook. Fonte: Facebook (2019).

não é uma solução moldada aos desastres naturais, focada na comunicação ágil entre vítimas e equipes de resgate e as peculiaridades envolvidas.

A existência desse aplicativo sustenta a viabilidade técnica da proposta desse estudo e a possibilidade real de implementação da solução como um sistema viável. Ao buscar pelo identificador (ID) de um usuário e ambos permitirem a comunicação, um *chat* é estabelecido permitindo a troca de mensagens, conforme demonstrado na Figura 2.12.

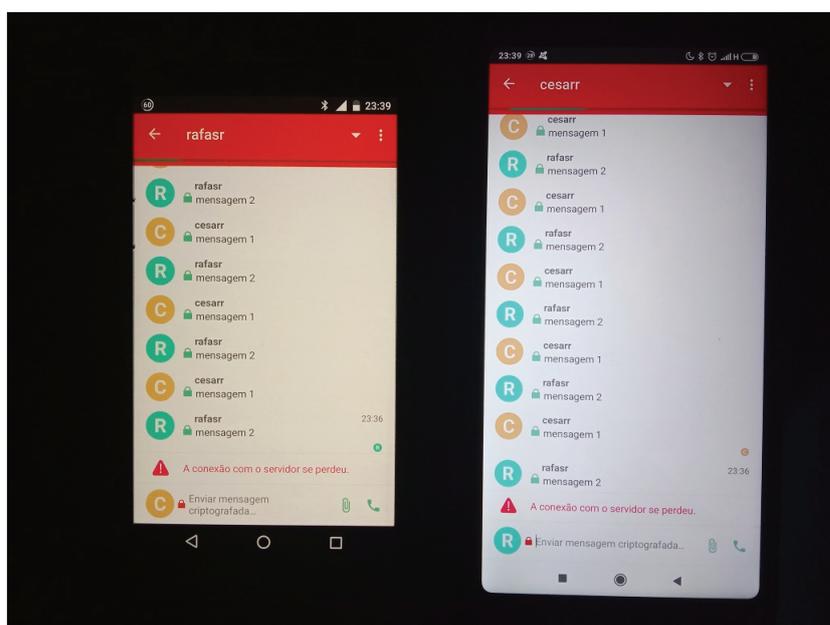


Figura 2.12: Comunicação pelo FireChat.

Como é possível visualizar, ambos dispositivos se comunicam por Bluetooth, enviando e recebendo mensagens simultaneamente em uma via de comunicação dupla. Ao perder e retomar a conexão, mensagens pendentes são recebidas de forma simples e sem necessidade de permissões ou interações constantes. Além disso, a mensagem pode ser entregue para e por dispositivos intermediários.

Por fim, uma solução que ganhou destaque midiático recente foi o projeto OWL (IBM, 2019), vencedor da competição *Code and Response* de 2018, patrocinada pela IBM, cuja edição focou em soluções tecnológicas direcionadas para desastres naturais.

A solução proposta pelo projeto OWL consiste em diversas unidades de um *hardware* próprio, dotado de Wi-Fi, que espalhado por uma região forma uma malha de comunicação (rede *mesh*) que permite que pessoas se conectem por meio de seus *smartphones* e enviem mensagens que trafegam pela rede e alcançam as equipes de suporte.

Conforme Coto (2019), presidente da Associação de Gerenciamento de Emergência de Porto Rico, ao se referir ao impacto do furacão Maria em 2017, a principal crise causada pelo furacão Maria foi a comunicação, que gera diversos outros problemas.

Ao vencer o *Code and Responde* 2018, o projeto OWL recebeu 200 mil dólares de apoio financeiro para ser testado e implementado em Porto Rico, o que demonstra que, apesar de uma solução interessante, necessita de alto investimento e grande tempo para implementação prévia, em contraste à proposta deste trabalho.

2.3.2 Propostas Acadêmicas

A utilização de redes *ad hoc* constituídas por *smartphones* para comunicação em situações em desastres naturais não é uma proposta inédita, e diversos estudos apresentam soluções baseadas nessa abordagem. O estudo de Lin, Hsueh e Pa (2015) apresentou uma alteração na ROM do Android para suportar comunicação Wi-Fi entre dispositivos finais (o que ainda não era suportado) a fim de se estabelecer uma rede *ad hoc* de maior alcance em situação de emergência. Hoje, o *Wi-Fi Direct* já é um recurso amplamente empregado em novos dispositivos e, juntamente com o Bluetooth, é utilizado como meio viável de sinal de comunicação neste trabalho.

Banerjee e DasBit (2014) exploraram uma situação mais restrita, onde os aparelhos telefônicos não possuem capacidade de comunicação direta (dispositivos mais simples em regiões mais pobres) propondo o desenvolvimento de um módulo a ser conectado ao

aparelho e, por meio do sinal ZigBee, a criação de uma rede *ad hoc*. Os testes práticos se limitaram a validar o funcionamento do dispositivo.

Já Kamruzzaman et al. (2017) propõem uma rede heterogênea, formada por *smartphones* sem acesso à rede de telefonia e dados, juntamente com dispositivos com acesso à rede externa atuando como *gateways*. Porém, o trabalho não apresenta testes ou conclusões práticas e apenas se concentra na proposta do sistema.

Outro trabalho que se restringe a uma proposta conceitual é o de Verma e Chauhan (2015) que discute a construção de uma MANET em uma situação pós-desastre. O trabalho sugere a rápida instalação de pontos de acesso para cobrir a região e permitir a comunicação de vítimas por seus *smartphones*. Essa estratégia aparenta ser uma proposta que demanda muito tempo e esforço, em contraste à busca de vítimas ativamente, apoiada por nós que possam se comunicar com as vítimas por uma rede previamente planejada, como se propõe neste texto.

Uma observação a partir de trabalhos dessa área de pesquisa específica (redes *ad hoc* baseadas em *smartphones* em desastres naturais) é que, com certa frequência, esses estudos não se propõem a validar suas propostas de forma mais abrangente. De fato, é difícil atestar essas soluções por envolverem uma aplicação em desastre natural que demanda interação entre diversos usuários para formação de uma rede em uma situação adversa. Porém, há métodos para se avaliar essas soluções por meio de simulações computacionais, mas que nem sempre são empregadas em todos os trabalhos e, quando aplicadas, por vezes são implementadas com muitas restrições. É comum limitar os cenários a um número reduzido de nós (AL-SADI; AL-THEIABAT; AWAD, 2017) ou aplicar modelos de mobilidade pouco adequados (YANG et al., 2016), impedindo uma validação mais ampla e aprofundada dos trabalhos, e principalmente, restringindo as possibilidades de comparação entre esses estudos.

Sem a condução de variados testes de campo, comparações ou simulações amplas, torna-se difícil perceber a vantagem real de uma proposta apenas pela especificação, ou no máximo, teste prático entre poucos nós, em um cenário distante do proposto para ser aplicado. Por isso, neste trabalho apresenta-se uma solução simulada extensivamente, em diferentes cenários, com a análise e comparação de resultados para atestar a melhor configuração a ser proposta dentro do escopo apresentado. Apesar dessa observação, é importante frisar que há muitos trabalhos conduzidos com amplas simulações, como naqueles de Coriat et al. (2016) e Stute et al. (2017).

Por sua vez, no trabalho de Awan, Nadeem e Amer (2017) foi desenvolvido um simulador, em linguagem Java, para representar uma abordagem de utilização de redes *ad hoc* para comunicação em um desastre natural. A proposta basicamente consiste em um veículo (robô) que é conduzido pela região afetada, coletando informações de vítimas conforme disponibilidade de sinal e enviando para uma central de monitoramento que toma as decisões estratégicas baseada nas informações coletadas. A proposta parece um pouco limitada, de pouca aplicabilidade prática, com uma simulação que apresenta poucas opções para análise do cenário. Contudo, demonstra a viabilidade para um caminho adotado nesse trabalho: o desenvolvimento de um simulador em Java para estudo de redes *ad hoc* em desastres naturais. Porém, neste trabalho emprega-se uma maior profundidade de configuração e flexibilidade para análise de dados, entregando uma proposta mais aprofundada para este estudo. A discussão dos meios de simulação investigados até a definição do desenvolvimento final de um simulador em Java, é discutida no Capítulo 3.

2.3.3 Ferramentas de Simulação

A Simulação de Eventos Discretos (SED) consiste na especificação de um sistema no qual são modeladas variáveis da realidade que se deseja representar, simulando condições a serem testadas computacionalmente e oferecendo um meio para analisar soluções de difícil implantação e teste prático. Segundo Law e Kelton (1999), simulações de eventos discretos são técnicas computacionais para imitar operações ou processos reais de todos os tipos, chamados de sistemas. É necessário fazer suposições sobre como funciona, por meio de relações lógicas ou matemáticas, que correspondem ao modelo gerado para se estudar e obter alguma compreensão de como o sistema se comporta. Muitos sistemas do mundo real são complexos e devem ser estudados por simulação, obtendo dados numéricos para estimar as características reais do sistema.

Simulações apresentam um meio viável de conduzir a avaliação da solução proposta por esse trabalho. Existe uma numerosa variedade de ferramentas e recursos para realização de simulações. Conduziu-se uma série de experimentos com diferentes ferramentas, a fim de identificar a melhor abordagem para ser adotada neste trabalho. No Capítulo 3 são apresentadas algumas das opções investigadas para representação de mobilidade e transmissão entre nós em redes *ad hoc*. Ao final é apresentada e justificada a abordagem escolhida.

2.4 Considerações do Capítulo

Conforme apresentado neste capítulo, desastres naturais podem ocasionar vítimas graves e danos na infraestrutura de comunicação, o que dificulta o estabelecimento de contato com equipes de socorro em um momento em que a necessidade dessa comunicação é urgente. Dessa forma, viabilizar outros meios de comunicação, mesmo como uma alternativa aos habituais, pode ser de grande auxílio em uma situação de resgate sob as condições de um desastre natural severo.

Soluções encontradas apontam para a atenção pública dada às ocorrências de desastres naturais, e a constante busca de meios para suprimir as preocupações e falta de comunicação nesses momentos. Estudos científicos também têm investigado esse problema, apresentando alternativas com diferentes abordagens, recursos, mobilidades e formas de validação. Mas, em comum, as diversas soluções, na ausência de acesso à Internet, recorrem à formação de uma rede *ad hoc* por ser uma solução tecnicamente viável e pouco onerosa para o escoamento ágil da comunicação.

Entre as soluções identificadas nenhuma preenche os requisitos de prover um meio de comunicação *ad hoc* composto por *smartphones*, baseado em Bluetooth e *Wi-Fi Direct*, com um mecanismo de priorizar as vítimas e tratar redundâncias de atendimento pelos socorristas. Essas são características identificadas como essenciais à proposta desse trabalho, distinguindo-o de demais soluções. Para a análise dessa solução, é indicado o uso de SED, discutido com mais detalhes no Capítulo 3.

Capítulo 3

Investigação de Propostas para Simulação Computacional

Para avaliação da solução proposta por esse trabalho, destacou-se na Seção 2.4 o uso de simulações de eventos discretos para a construção e análise do cenário sobre o qual a solução será aplicada. Para isso, é necessário primeiramente decidir qual ferramenta ou abordagem a ser adotada para representar esse cenário. A seguir são apresentadas algumas possibilidades que foram investigadas por esse trabalho, apontando suas limitações que orientaram para a adoção da abordagem discutida ao final deste capítulo.

3.1 Arena

Inicialmente explorou-se o uso do *software* Rockwell Arena (ROCKWELL AUTOMATION, 2020), muito difundido comercialmente para a simulação de processos. É uma ferramenta de simulação de eventos discretos que utiliza diagramas de fluxo de dados para representar os processos de um sistema. Por meio de uma série de blocos disponíveis, desenvolve-se o fluxo pelo qual caminham as entidades (elementos da simulação, como os pacotes de dados em uma rede de computadores). Estas são processadas e transportadas ao longo do diagrama, até seu descarte final. Dessa forma são geradas estatísticas permitindo a análise da interação das entidades no sistema.

Criou-se uma representação da lógica da troca de pacotes entre nós de uma rede *ad hoc*. A rede representada nesse sistema constitui-se do nó vítima, do *gateway* e de nós móveis. O objetivo dessa simulação é identificar quanto tempo leva para um pacote de emergência

gerado por uma vítima alcançar o *gateway*, que é uma equipe de resgate. Configurações no modelo de mobilidade, como o tamanho da área e raio de alcance dos nós, podem influenciar nos resultados. A rede *ad hoc* simulada está representada na Figura 3.1.

Os números em vermelho, destacados na Figura 3.1, representam etapas para verificação da conectividade e troca dos pacotes. Esses números são detalhados no texto a seguir, correspondendo às etapas numeradas entre parênteses.

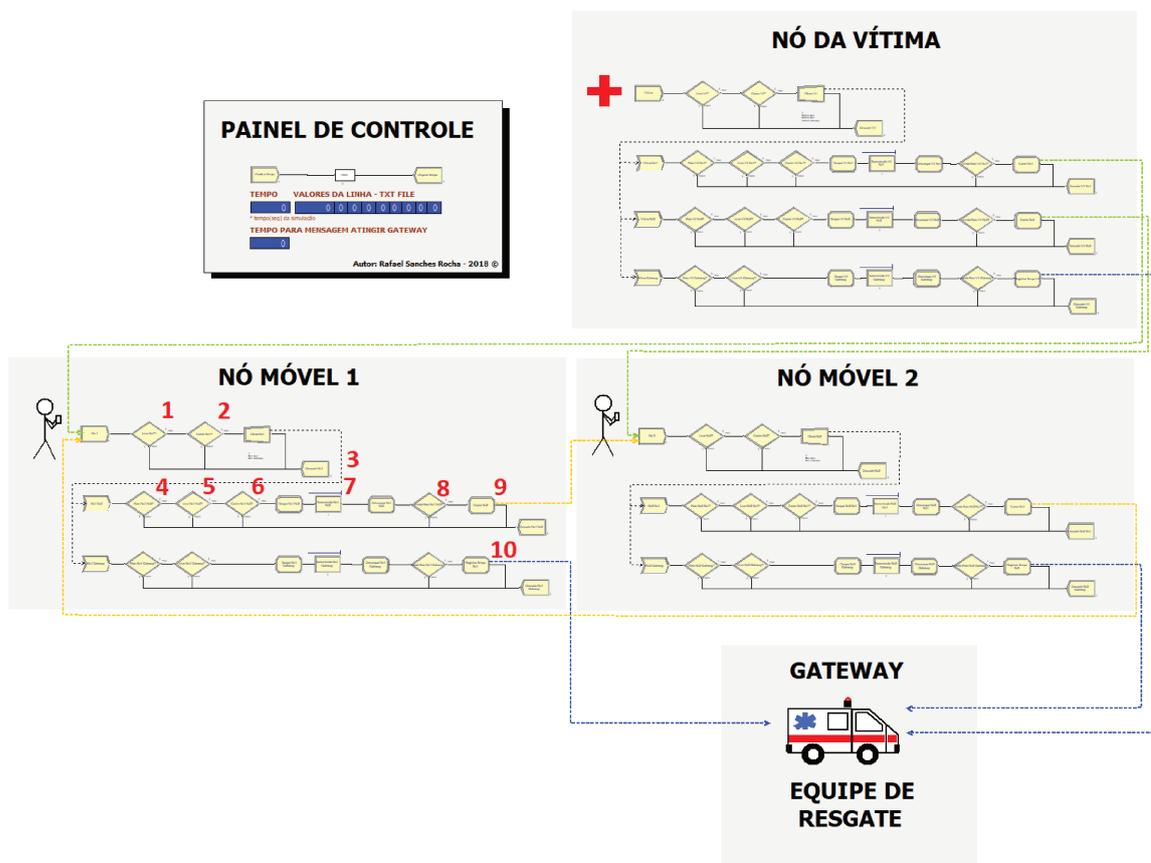


Figura 3.1: Diagrama de blocos representando uma visão geral da simulação no Arena.

O nó móvel 1 não deve estar transmitindo ou recebendo um pacote de outro nó (1) e deve já ter recebido a mensagem de emergência (2), o que o torna um portador (*carrier*). Se essas condições são satisfeitas, este nó pode procurar por outros para encaminhar o pacote (3).

Se o nó móvel 2 está ao alcance de sinal do nó móvel 1 (4), se não está se comunicando com outro nó (5), e se não for um portador (6), então a transmissão do pacote é iniciada dentro de uma margem de tempo variável (7). Ao terminar a transmissão, se verifica se os nós ainda estão ao alcance uns dos outros (8). Se não estiverem, significa que a conectividade foi perdida e o nó móvel 1 não concluiu com sucesso a transmissão. Essa verificação é importante nesse contexto de implantação devido à alta mobilidade dos nós.

Se o nó móvel 2 obteve sucesso nas verificações anteriores, ele se tornará um portador (9) e passará a executar as mesmas verificações com os demais nós. Quando essa série de passos for confirmada para um *gateway*, o sistema registrará o tempo de entrega do pacote (10) e encerrará a simulação.

O problema para prosseguir com as simulações nesse *software* é a dificuldade na escalabilidade do modelo. A criação de cada nó adicional demandaria realizar uma cópia de todos os blocos de um nó e ajustes em cada um desses, além do acréscimo de uma linha de blocos a mais em cada outro nó. Outro problema é o limite da licença de estudante a que se teve acesso, que restringe a quantidade de blocos do modelo, o que permitiu somente a criação de dois nós móveis. Além disso, a mobilidade é representada de uma forma simplificada, restringindo-se a uma definição aleatória de estado de conectividade entre os nós.

3.2 Matlab

Por essas barreiras enfrentadas com o *software* Arena, observou-se que é necessário utilizar uma ferramenta mais versátil, de preferência com acesso à programação para definição mais flexível do comportamento da rede simulada. Buscando-se por uma implantação de referência que apresentasse a base de um modelo de mobilidade a partir do qual outros elementos da simulação pudessem ser acrescentados, encontrou-se o algoritmo do modelo de mobilidade RWP distribuído por Boutin (2011), implementado em MATLAB (MATHWORKS, 2020).

A partir desse modelo de RWP, foram adicionados elementos necessários para este estudo, como o nó da vítima e *gateways* representando os socorristas, além do raio de alcance do sinal utilizado para detectar a possibilidade de transmissão. Também foi definida uma abordagem epidêmica para encaminhamento de pacotes entre os nós.

Pelo fato do MATLAB apresentar uma linguagem de programação robusta, isso acrescentou flexibilidade na simulação e principalmente facilidade no incremento da quantidade de nós simulados e no ajuste da área da simulação. Também acrescentou a possibilidade de visualização da simulação em tempo real, permitindo acompanhar a mobilidade dos nós e o encaminhamento dos pacotes até atingir o *gateway*.

Cada nó que recebe o pacote é identificado com a mudança de cor para vermelho, e seu trajeto passa a ser registrado na tela. Isso é particularmente útil para simulações com baixa

densidade de nós na área, a fim de estudar o comportamento da simulação e identificar possíveis implementações incorretas. Um exemplo de tela de uma simulação está na Figura 3.2.

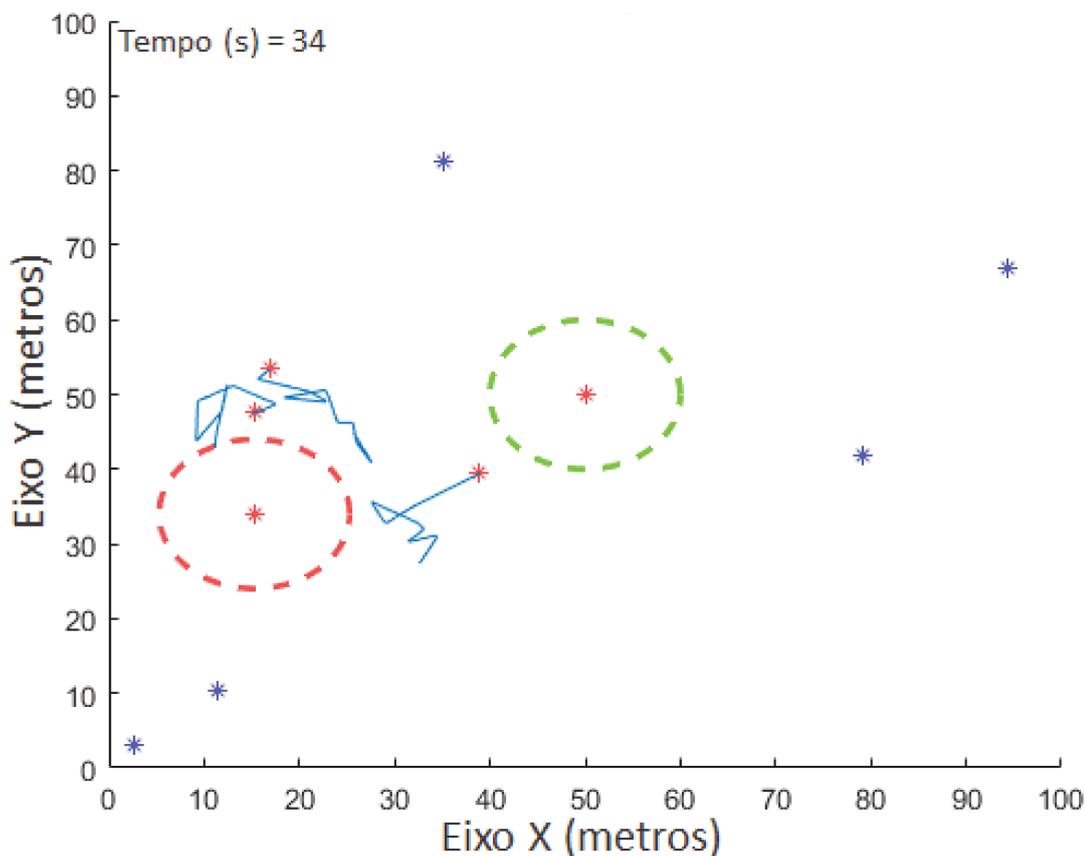


Figura 3.2: Visualização de uma simulação em MATLAB.

O círculo vermelho representa o alcance do sinal do nó da vítima. O círculo verde representa o alcance do *gateway*. Há oito nós móveis nessa simulação, representados pelos asteriscos azuis. Quando cada nó recebe o pacote de emergência, tem sua cor alterada para vermelho, e passa a registrar o caminho percorrido pelas linhas azuis. Nessa simulação, três nós móveis receberam o pacote diretamente da vítima e um repassou para o *gateway*, encerrando a simulação aos 34 segundos.

Foram realizadas diversas simulações com diferentes cenários, compostos por parâmetros como a área, quantidade de nós e quantidade de *gateways*. Estudou-se como o posicionamento das vítimas e dos *gateways* influencia no tempo de entrega do pacote, analisando o escoamento de pacotes em função da densidade de nós de uma área.

O uso do *software* MATLAB se mostrou uma escolha melhor do que o ARENA para representar uma rede *ad hoc* e suas interações em alto nível. Embora o MATLAB apresente

uma versatilidade maior, as primeiras dificuldades foram enfrentadas ao se planejar o acréscimo de mais elementos na simulação, o desenvolvimento de uma interface mais robusta para visualização e controle da simulação e entrada de dados, além de gráficos e resultados de saída. Percebeu-se que apesar de ser uma ótima ferramenta, não concilia bem com as necessidades de nível de desenvolvimento para a simulação desse trabalho.

3.3 OMNeT++

Explorando novas possibilidades, considerando peculiaridades da simulação desejada como aspectos da transmissão de dispositivos de rede, além de maior necessidade de representação visual dos elementos da simulação, foram identificados simuladores específicos para essas características, como o *Network Simulator* (NS-3, 2020) e OMNeT++ (OMNET++, 2020). Apesar de serem simuladores específicos de redes de computadores, eles apresentam suporte para mobilidade dos nós e, portanto, podem ser utilizados para o desenvolvimento dos cenários de estudo de redes *ad hoc*.

Dentre as principais opções disponíveis, foi escolhido o OMNeT++ para dar prosseguimento ao desenvolvimento dos cenários de estudo, devido a um uso mais amigável em relação às outras alternativas, à interface de visualização da simulação mais amadurecida e pela presença crescente em trabalhos acadêmicos.

O ns-3, outra opção popular para simulação de redes, não possui suporte ao sistema operacional Windows, utilizado na execução deste trabalho. A virtualização não é uma opção viável devido à limitação de memória e à exigência de recursos da máquina somados à execução da simulação. Por outro lado, o OMNet++ é uma ferramenta multiplataforma.

A Figura 3.3 apresenta a evolução da contagem de publicações de artigos utilizando este simulador, desde seu lançamento em 2000 até 2013. Ressalta-se que estes resultados provêm de buscas em bases conceituadas como IEEE Xplore e ACM Digital Library. Em uma comparação realizada nessas bases em 2018, cerca de 987 artigos foram identificados relacionados ao OMNeT++, em contraste com 998 relacionados ao *Network Simulator* (ns), outro *software* popular para simulação de redes. É difícil apontar o nível dessa relação, podendo se referir tanto ao uso da ferramenta no trabalho quanto apenas a citação.

O OMNeT++ é um simulador de eventos discretos para redes de computadores. Ele possui diversos módulos que representam protocolos, camadas, meios, dispositivos, interfaces, entre

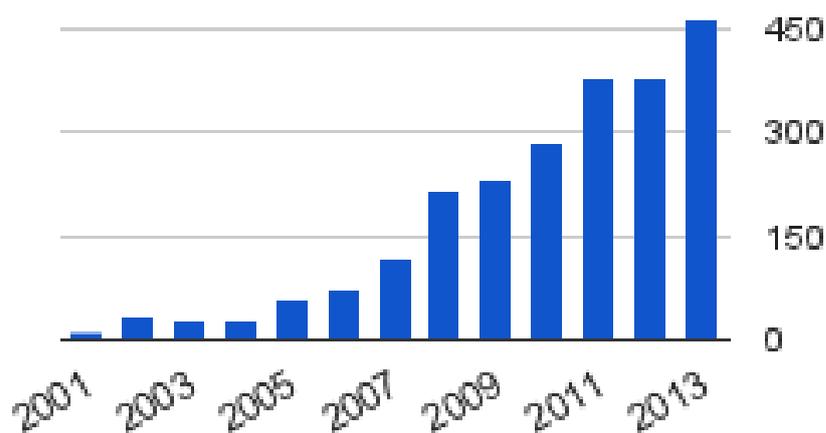


Figura 3.3: Evolução da adoção do OMNeT++ em pesquisas acadêmicas. Fonte: (OMNET++, 2020).

outros elementos de redes que podem ser utilizados para a criação de simulações. É baseado na linguagem C++ para descrever comportamentos de eventos e dispositivos, e na linguagem NED para definir a estrutura da rede simulada, descrevendo assim seus componentes.

Há uma interface gráfica e um ambiente integrado de desenvolvimento integrados à ferramenta, promovendo o desenvolvimento, configuração e visualização de diversos eventos. Como a simulação é constituída de nós móveis, é vantajoso haver uma rápida visualização dos deslocamentos e trocas de mensagens para fácil constatação do comportamento da rede.

Dessa forma, foi implementado no OMNeT++ uma simulação equivalente às executadas nas ferramentas anteriores, mas com um acréscimo: mobilidade no *gateway*. Isso representa o comportamento esperado na simulação final, onde os socorristas estarão se deslocando para atender as vítimas.

A simulação foi implementada utilizando o modelo de mobilidade RWP oferecido no *INET Framework* do OMNeT++. Utilizou-se como meio um sinal Wi-Fi, oferecido pela classe *IEEE80211*. A troca de mensagens da vítima ocorre por *broadcast* de cada portador – nó que recebeu a mensagem da vítima –, apresentando assim o mesmo comportamento epidêmico das simulações anteriores.

Também foi acrescentada uma barreira física na simulação, para testar a atenuação ou bloqueio do sinal. Isso auxilia na representação dos elementos físicos da área, como construções ou escombros. A Figura 3.4 representa essa simulação destacada em quatro etapas.

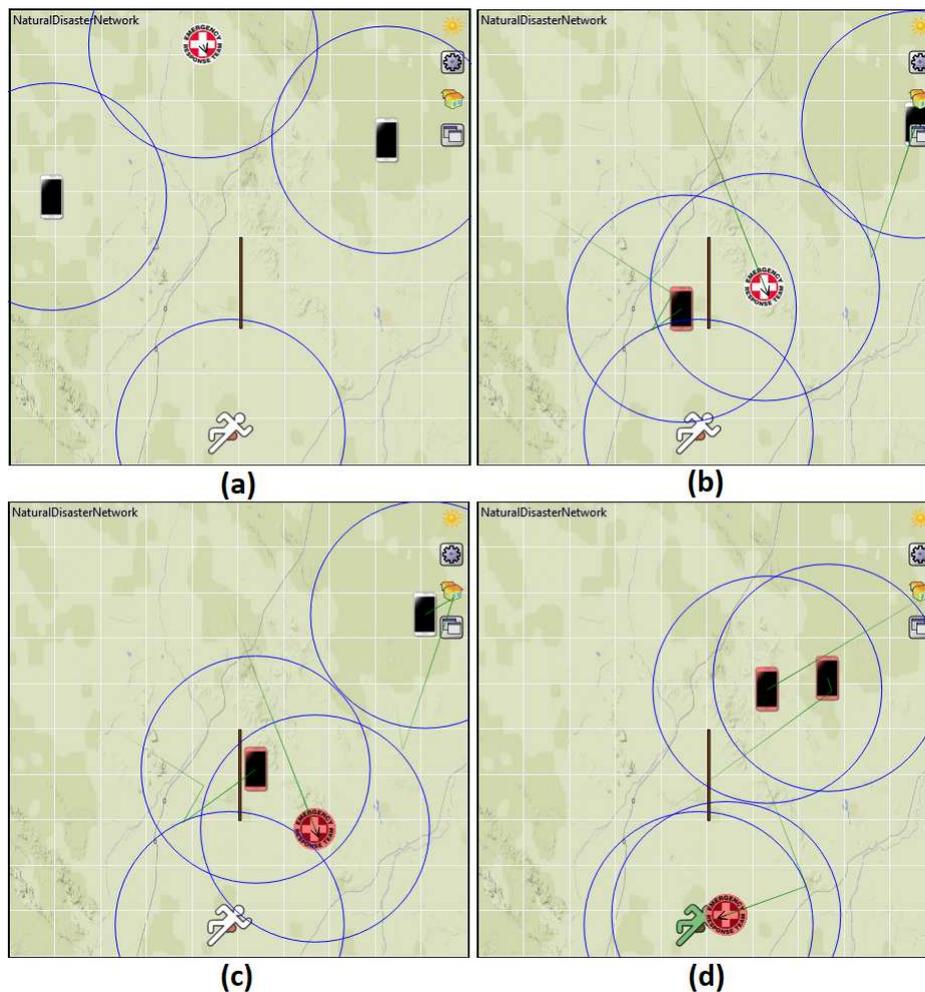


Figura 3.4: Simulação no OMNeT++.

A Figura 3.4-(a) mostra a posição inicial. A Figura 3.4-(b) indica o deslocamento dos nós; nó móvel alcança o raio do sinal da vítima, recebendo o pacote de emergência e tornando-se um nó portador (a cor muda para vermelho). Apesar de estar no raio de alcance, o nó portador não repassa o pacote para o socorrista, pois há uma barreira de concreto do caminho. A Figura 3.4-(c) mostra o nó portador quando passa pela barreira, e repassa o pacote ao socorrista. O socorrista mudará seu deslocamento até a posição da vítima. Finalmente, a Figura 3.4-(d) ilustra quando o nó portador alcança o outro nó móvel, repassando o pacote para este. O socorrista alcança a vítima, atendendo-a (a cor muda para verde).

A simulação pelo OMNeT++ se mostrou robusta, demonstrando recursos para uma visualização mais apresentável e personalizável. Além disso, apoia-se em diversas implementações de protocolos e outras definições de redes que tornam a simulação mais verossímil sob o aspecto de redes de computadores.

O OMNeT++ apresenta uma série de recursos que permite detalhar uma simulação de redes de computadores. Contudo, esse não é o maior objetivo de estudo deste trabalho. Embora bem-vindas, representações precisas de um conjunto de protocolos de rede não causam impacto no interesse de estudo desse trabalho, que é observar o comportamento de pessoas em uma região e a troca lógica de mensagens por *smartphones* conforme se aproximam. Essa interação poderia ser representada em alto nível de abstração, desde que apoiada por uma lógica bem definida, como por exemplo, pela mensuração prática do tempo de transmissão de pacotes e a aplicação desse valor na simulação. Por isso, o OMNeT++ pode acrescentar uma sofisticação em uma direção não fundamental para esse trabalho, o que acarreta em dificuldades que poderiam ser evitadas pela escolha de uma abordagem mais adequada ao escopo desejado.

Mesmo com toda a sofisticação do OMNeT++ e do *framework* INET, nem todos os recursos necessários estão disponíveis. Falta a implementação de um modelo de sinal Bluetooth. Além do mais, há apenas a implementação dos modelos de sinais sem fio 802.11 (Wi-Fi) e 802.15.4 (ZigBee). Também não é claro até em que ponto o modelo 802.11 pode ser utilizado para representar a comunicação por Wi-Fi Direct, ou se foi modelado para representar o uso entre um dispositivo móvel e um *Access Point* (AP).

Portanto, para o uso de um simulador de redes com o intuito de representação fidedigna das camadas de redes e processos de troca de pacotes, seria necessário implementar esses meios de comunicação, o que não é uma proposta nem uma necessidade deste trabalho.

Por outro lado, para o uso desse simulador com uma representação genérica do sinal, não haveria razão para o acréscimo de complexidade pela escolha de seu uso, pois não estaria representando precisamente o ponto que seria de maior interesse, referente aos sinais das comunicações por Bluetooth e Wi-Fi Direct.

Outra consideração é em relação à necessidade de diversos ajustes de parâmetros. A distância de alcance do padrão 802.11 é configurada para 100 metros. Conforme mensurado e registrado no Apêndice D, essa distância pode ser maior. Há também recursos para criação de obstáculos físicos. Porém, no teste realizado, foi observado um bloqueio total da transmissão do sinal, enquanto no Apêndice F são apresentados resultados de testes práticos indicando a atenuação do sinal.

Sendo assim, a continuação do uso do OMNeT++ acarretaria na necessidade de uma implementação complexa dos sinais desejados, ou uma representação genérica, o que perderia a justificativa do uso do simulador de redes. Seria necessário ainda verificações e

ajustes em parâmetros de distância e taxa de transferência, além de buscar por outras adaptações necessárias.

Além do mais, modificações para ajustes simples se mostraram trabalhosas. Por exemplo, a simulação de um *broadcast* por meio do sinal do padrão 802.11 apresentou dificuldade de implantação, necessitando de um ajuste diretamente na implementação desse recurso. Isso deixa uma insegurança quanto à possibilidade de enfrentar futuros ajustes que demandem modificações ou implementações mais profundas na estrutura do INET.

Mesmo uma modelagem de um cenário limitado, com uma vítima, um socorrista e dois nós móveis, demandou relativo trabalho para configuração de poucos componentes, o que representa um grande alerta para a escalabilidade da simulação. Considerando que, para a análise da solução proposta pelo trabalho, é necessário testar centenas de cenários distintos, com muitos elementos na simulação, em tamanhos de área variados, com quantidades de nós distintas, mudança de posicionamento de escombros, regiões alagadas, vítimas e socorristas, entre diversos outros parâmetros, somando às observações anteriores acerca do OMNeT++, conclui-se que, para este trabalho em específico, o OMNeT++ não é a ferramenta mais prática para ser utilizada, e possivelmente nenhum outro simulador de redes.

3.4 Opção pelo Desenvolvimento de um Simulador

Após a investigação de ferramentas disponíveis, para a abordagem de simulação deste trabalho, optou-se pelo desenvolvimento de um simulador próprio. A razão para isso é o entendimento de que a flexibilidade obtida na definição das necessidades da simulação, entregue por um simulador próprio, compensaria o esforço empregado em seu desenvolvimento. Alguns testes iniciais foram conduzidos, a fim de simular alguns nós dentro de uma região. Os resultados foram satisfatórios, encorajando o prosseguimento com essa abordagem, conforme discutido no Capítulo 5.

Definiu-se esse desenvolvimento baseado na linguagem de programação Java (ORACLE, 2020). É uma linguagem robusta e que oferece muitos recursos para criação de elementos de interface gráfica, muito úteis para representação da simulação. A adoção dessa linguagem, para descrever os algoritmos e estrutura da aplicação (repassé de mensagens, tabela de vítimas etc.), facilita uma possível futura migração da lógica do código da aplicação simulada para o aplicativo final para o sistema operacional móvel Android. Dessa forma, minimizaria a

probabilidade de eventuais divergências entre o código da simulação e a implantação do aplicativo.

Os valores das variáveis do estudo, inseridas no simulador, são obtidas por referências bibliográficas ou medições práticas realizadas. Destaca-se que as medições práticas podem apontar dados divergentes de uma simulação com base teórica. A representação de diversas interações e sofisticções de camadas de rede baseadas em referências teóricas, a respeito de potência de sinal, distância de alcance e taxa de transferência do *framework* INET do OMNeT++ apresentaram valores distintos das medições realizadas e registradas nos apêndices. Portanto, para este trabalho, é mais interessante o dado observado pela medição prática.

Uma simulação de eventos discretos pode se basear em diferentes níveis de abstração, bastando que se apoie em variáveis e valores condizentes ao que se pretende simular. Para este estudo, utilizou-se o tempo de transmissão entre nós distintos. Para isso, foram utilizados dados de medições práticas.

Dessa forma, pode-se perder representatividade detalhada das camadas de rede, mas isso não é uma consequência negativa para os propósitos desse estudo. Por outro lado, ganha-se na diminuição do custo computacional para representar diversos outros elementos menos pertinentes ao cenário em análise. Além de se obter flexibilidade para criação dos cenários, algo que exigiria um esforço muito maior para implementar em outras ferramentas já constituídas. Isso se ainda for possível representar os mesmos cenários gerados pela ferramenta desse trabalho. Com a especificação de uma ferramenta modelada para as necessidades desse estudo, é possível atender de forma simples a criação dos cenários de simulação desse trabalho.

3.5 Considerações do Capítulo

Diante dessa trajetória de investigação e das dificuldades apresentadas, ponderou-se que a melhor abordagem é o desenvolvimento da própria ferramenta de simulação, com escopo definido e delimitado para as variáveis de interesse, sem a complexidade de enfrentar implementações de recursos não essenciais para a simulação em estudo.

A ferramenta proposta nesse trabalho foi concebida com a vantagem de ser totalmente definida pelo próprio autor, representando uma familiaridade com a implementação do

ambiente simulado, sem necessitar de estudo aprofundado de um ambiente já existente, e nem se limitar às regras e estruturas previamente definidas por outra ferramenta.

A ferramenta ora proposta é moldada para as necessidades desse trabalho que, pelo escopo restrito, apresenta-se mais adaptada à simulação desejada por apenas representar os recursos diretamente em estudo. Além disso, a ferramenta oferece uma grande versatilidade de configuração por ser projetada para os casos específicos a serem analisados nesse trabalho. Essa solução final é completa e delimitada para os objetos de estudo dessa pesquisa. O Capítulo 5 detalha os componentes da ferramenta (simulador) que é a base da condução dos casos de teste desse trabalho, a fim de analisar a aplicação proposta como solução para a comunicação de vítimas e socorristas por uma rede *ad hoc*.

Capítulo 4

Solução Proposta para Comunicação das Vítimas

Em um momento pós-desastre, muitas vezes é necessário a busca e atendimento de vítimas sem poder recorrer aos meios de comunicação habituais, devido aos danos em Estações Rádio Base (ERB) ou aos postes de comunicação que suportam os cabos de transmissão de dados. Como exposto na Seção 2.3.2, nesses cenários são comuns propostas para recorrer à formação de redes *ad hoc* com smartphones, a fim de prover a troca de informações entre socorristas e desenvolver uma maior eficiência no salvamento.

A solução proposta neste trabalho consiste em uma aplicação para *smartphones* denominada *Smartphone based Disaster Application* (SBDA). Em contraste ao normalmente proposto em outros trabalhos, este aplicativo é compartilhado entre a equipe de resgate e a população local. O objetivo é prover aos socorristas a informação da localização da vítima o mais rápido possível, reduzindo o tempo para atendimento.

Com a difusão do uso do *smartphone* no cotidiano do cidadão, é um desperdício de recurso planejar uma rede para o atendimento da população e não aproveitar a disponibilidade de seu próprio dispositivo. Pesquisas conduzidas pela consultoria Deloitte indicam que em 2018 cerca de 92% da população do Brasil possuía acesso a *smartphones* (DELOITTE, 2018), e em 2019 esse índice cresceu para cerca de 95% (DELOITTE, 2019).

Outros diferenciais do aplicativo proposto neste trabalho são a possibilidade de priorização das vítimas e uma mudança dinâmica dos atendimentos em andamento, algo não discutido em outros trabalhos da forma aqui apresentada. Também destaca-se o uso de Wi-Fi Direct e Bluetooth para a procura de nós e maior eficiência da comunicação da rede.

4.1 Aplicativo

Para o funcionamento da solução proposta, deve haver um aplicativo instalado nos *smartphones* dos socorristas e dos cidadãos da área atingida pelo desastre natural. Por isso, há a premissa de apoio de órgãos públicos em sua implementação, a partir de um mapeamento das áreas de risco, e uma campanha pública prévia com a população para incentivo da instalação do aplicativo, além de orientações claras sobre o uso.

Com essa preparação prévia, realiza-se um cadastro dos cidadãos em base pública. Em seguida, os cidadãos recebem um ID para identificar unicamente seu dispositivo na rede *ad hoc*. Durante a instalação, devem ser permitidas todas as autorizações de segurança para que o aplicativo funcione corretamente para ativar os recursos de Global Positioning System (GPS) e de comunicação sem fio do dispositivo (Bluetooth e Wi-Fi Direct), além de estabelecer as conexões de rede com demais dispositivos.

Normalmente, um desastre natural pode ser previsto com o monitoramento climático ou sísmico. Portanto, diante da possibilidade de um desastre, os aplicativos podem ser ativados remotamente pelo órgão público responsável, e assim iniciarem previamente o monitoramento de outros nós, ou ainda iniciarem em um dia e horário agendados, conforme estimada a chegada de um fenômeno natural. Ainda, o aplicativo pode emitir notificações para alerta do cidadão, tanto sobre orientações acerca de medidas de segurança, quanto para uso e ativação do aplicativo assim que for preciso.

Outra possibilidade é o aplicativo manter uma verificação de conectividade com a rede de telefonia ou Wi-Fi e, caso detecte a ausência de conectividade dentro de um período de tempo, pode entrar em modo de monitoramento para formação da rede *ad hoc*. Em seguida, emite uma notificação ao usuário para confirmar a manutenção desse modo e seu estado de saúde.

Por fim, a principal funcionalidade é permitir a ativação manual, e caso o cidadão abra o aplicativo e inicie o processo de emissão de mensagem mas não conclua, são geradas notificações solicitando a confirmação do estado de saúde do cidadão. Caso ele não responda, é considerado como uma vítima e uma mensagem é gerada automaticamente para a rede.

O cidadão, quando vítima do desastre natural e conforme orientações recebidas durante a instalação e cadastro, utiliza o aplicativo de forma simples e objetiva para comunicar sua necessidade de atendimento, conforme ilustrado na Figura 4.1.

Ao abrir o aplicativo, com um toque seleciona a opção de “Solicitar Atendimento”, conforme Figura 4.1-(a). Na Figura 4.1-(b), o sistema solicita ao cidadão que informe se o

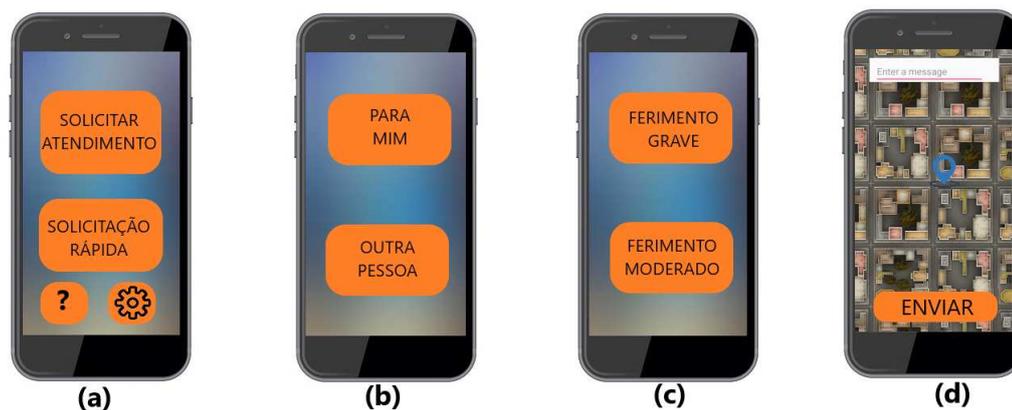


Figura 4.1: Aplicativo: Uso pela vítima.

atendimento é para ele mesmo, ou outra pessoa (o que necessitará de mais informações). Uma implementação interessante, seria a associação do *smartphone* a um “núcleo familiar”, permitindo escolher rapidamente entre as pessoas de seu convívio familiar previamente cadastradas, após selecionar a opção “outra pessoa”.

Com outro toque, o usuário seleciona seu nível de emergência entre duas opções, conforme orientações recebidas, destacadas na Figura 4.1-(c). É recomendado usar o termo “moderado” ao invés de “leve” para não induzir o cidadão a escolher o nível máximo em caso desnecessário.

Por fim, apresenta-se a tela da Figura 4.1-(d). A posição do cidadão é apontada no mapa, caso o sinal do GPS esteja disponível, e a vítima pode ajustar seu posicionamento arrastando o indicador pelo mapa (semelhante ao recurso de escolha de local de partida oferecido pelo aplicativo Uber). Também pode ser configurado para a posição ser ajustada previamente para o local da sua residência. Caso deseje, ainda pode digitar uma mensagem para complementar informações sobre sua localização e estado. Com outro toque envia a mensagem.

Por sua vez, a opção “Solicitação Rápida” na Figura 4.1-(a) emite automaticamente uma mensagem para o próprio cidadão (conforme opção na Figura 4.1-(b)), considerando um ferimento grave (conforme opção na Figura 4.1-(c)) e com a posição captada pelo GPS ou da sua residência previamente cadastrada (conforme seleção na Figura 4.1-(d)). Essa opção facilita o processo para uma vítima grave que esteja com dificuldades de operar o *smartphone*.

Um uso importante do campo de texto é comunicar sobre outra vítima, pois a mensagem de emergência nem sempre precisa estar associada ao nó de origem. Em uma situação real, pode haver uma vítima que não esteja consciente ou não possua um dispositivo móvel em funcionamento. Nesse caso, é fundamental que outra pessoa possa enviar uma mensagem solicitando seu atendimento. Essa observação deve ser indicada no campo de texto.

A mensagem é repassada entre os nós da rede (demais cidadãos com o aplicativo ativado) de forma que, após diversos saltos (*hops*), alcance um socorrista. Durante essa disseminação da mensagem, ela é inserida na tabela de vítimas de cada nó, e durante uma comunicação entre dois dispositivos suas tabelas são trocadas e igualadas. Quando a mensagem alcança um socorrista, é realizado um cálculo de prioridade para determinar qual vítima será atendida primeiro. A Figura 4.2 ilustra a interação do socorrista com o aplicativo.



Figura 4.2: Aplicativo: Uso pelo socorrista.

Ao ser definida uma vítima para o socorrista, o aplicativo emite uma vibração e notificação para comunicar o socorrista sobre a nova vítima e sua localização, como ilustra a Figura 4.1-(a). Ao acessar a informação, o socorrista visualiza uma tela semelhante a da Figura 4.1-(b), podendo conferir seu trajeto até a vítima e a mensagem escrita por ela. Durante o deslocamento até a vítima, o socorrista pode receber nova informação de alteração de vítima para atendimento, conforme for descoberto uma com prioridade maior. Quando o socorrista alcançar uma vítima, ele deve pressionar o botão “Início”. Ao finalizar seu atendimento, deve abrir o aplicativo e pressionar o botão “Término”, ilustrado na Figura 4.1-(c), informando a rede sobre a conclusão do atendimento e ficando disponível para receber orientação de nova vítima para atendimento. Caso não haja mais atendimentos, receberá a coordenada da posição que deve retornar para continuar sua busca por vítimas.

O aplicativo possui algumas opções de configuração que não são acessíveis para os cidadãos e nem para os socorristas, sendo determinadas pelo órgão público responsável. Essas configurações são referentes ao peso dos componentes da prioridade da mensagem, da formação da rede realizada somente pelos socorristas ou com a inclusão dos cidadãos, da utilização do Wi-Fi, do Bluetooth ou ambos para identificação dos nós, bem como o tempo e o modo de escaneamento, e se um socorrista pode abandonar o deslocamento para uma

vítima para atender outra. Alguns aspectos desses itens são tratados neste capítulo, nas próximas seções. Outros estão descritos na Seção 5.1.6, dedicada às variáveis do SBDA. O impacto dessas configurações é observado no Capítulo 6.

4.2 Níveis de Emergência

A fim de orientar a equipe de resgate, é interessante haver uma triagem das mensagens de emergência de modo a prover alguma indicação prévia sobre a condição das vítimas.

Em áreas de atendimento como pronto-socorros e hospitais, a triagem é aplicada por profissionais capacitados da área de saúde. Contudo, no contexto apresentado nessa solução, essa informação necessita ser fornecida pela própria vítima, o que pode tornar tal informação enviesada. Contudo, possuir uma informação prévia ao atendimento pode ser útil para otimizar o preparo do socorrista e auxiliar na escolha entre vítimas a priorizar.

A solução adotada foi reduzir a solicitação de informações à vítima para um contexto mínimo e objetivo. No aplicativo, após solicitar o atendimento, a vítima escolhe uma entre duas categorias que melhor corresponda à sua situação: ferimentos graves (cortes profundos, fraturas expostas ou sangramento intenso, entre outros) ou leves (não apresentando a severidade anterior). Outra categoria é identificada durante o registro prévio do *smartphone* para fazer parte da rede, quando é identificado se o cidadão faz parte de um “grupo de risco”, ou “sensível” (crianças, idosos, grávidas ou hemofílicos, entre outros.).

A junção dessas duas categorias estabelece os quatro níveis de emergência das mensagens, ilustrados na Figura 4.3, que orientam a equipe de resgate na priorização de atendimentos caso sejam recebidas solicitações de mais de uma vítima. Essa classificação foi baseada em nomenclatura comumente adotada nos protocolos de triagem de atendimento médico, que podem variar de quantidade de níveis de acordo com o país ou região (GILBOY et al., 2012).

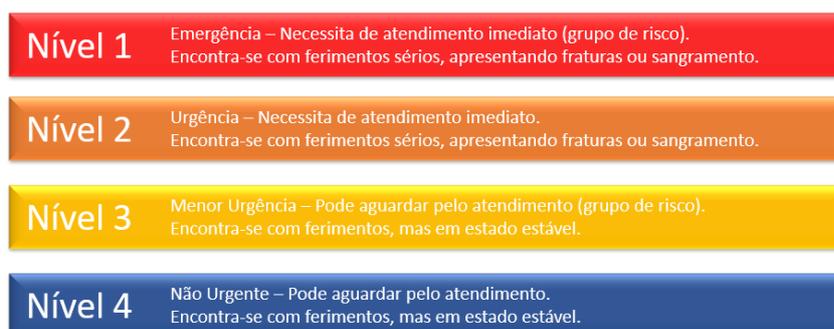


Figura 4.3: Triagem: Níveis de emergência.

4.3 Prioridade da Vítima

O SBDA analisa o nível de emergência da mensagem juntamente com a distância do socorrista para a vítima, e com essas informações calcula a prioridade da mensagem. Portanto, essas duas variáveis possuem pesos para compor a média que define a prioridade da vítima.

Localizações próximas do socorrista podem apresentar uma precedência diante de mensagens com nível mais elevado mas distantes. O princípio deste comportamento parte da observação de que, no momento em que um nó recebe uma mensagem muito distante, há a possibilidade de que a mesma já tenha alcançado um socorrista mais próximo de sua origem. Dessa forma, se esse socorrista mais distante imediatamente se deslocar até a vítima, no meio de seu caminho poderia receber a confirmação de que ela já está em atendimento por outro socorrista. Nesse caso, o socorrista teria deixado de atender outra vítima que estava mais próxima inicialmente, desperdiçando tempo de deslocamento.

Uma ilustração desse cenário está na Figura 4.4, onde o socorrista B inicia um deslocamento para atender a vítima A, mas desvia o curso para atender a vítima B mais próxima. Enquanto isso, o socorrista A já está atendendo a vítima A.

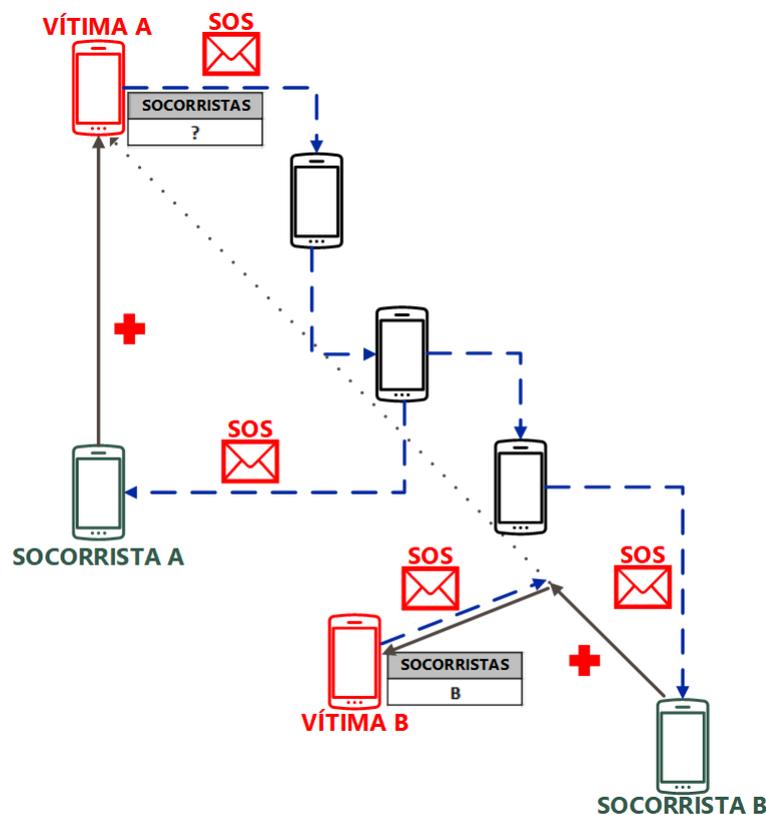


Figura 4.4: Deslocamento do socorrista.

A adoção desse comportamento considera uma característica peculiar dessa rede: a mensagem sendo entregue até o destinatário (socorrista) provoca seu deslocamento até o emissor (vítima), causando impacto no principal recurso em disputa na rede (o socorrista). Por isso é necessário um mecanismo para amenizar os deslocamentos e tornar o atendimento mais eficiente. Com essas duas variáveis em destaque, propõe-se a Equação 4.1 para determinar a prioridade da vítima.

$$Prioridade = p \times (125 - (Nivel \times 25)) + (1 - p) \times \left(100 - \frac{Distancia \times 100}{(\#Quadras \times 110 + 10) \times \sqrt{2}} \right) \quad (4.1)$$

Na Equação 4.1, a variável *Nivel* é um valor inteiro entre 1 e 4. O valor 1 é o maior nível de emergência e 4 é o menor. Quando o valor 1 é multiplicado por 25, e subtraído de 125, obtém-se o valor 100 (máximo). Analogamente, quando 4 é multiplicado por 25, e subtraído de 125, obtém-se o valor 25 (mínimo). Esse valor, multiplicado pelo peso *p*, indica o grau de influência que a variável *Nivel* exerce sobre o cálculo da prioridade de atendimento dessa vítima.

A variável *Distancia* é o afastamento calculado em linha reta entre a vítima e o socorrista. A partir dessa variável, calcula-se a proporção dessa distância em relação ao afastamento máximo possível na região. Nesse trabalho, a região simulada é uma área quadrada, dessa forma, a distância máxima entre dois pontos nessa região é a sua diagonal.

Nessa simulação, a diagonal da área (que é o denominador na equação em análise) é calculada pela quantidade de quadras existentes ao lado da área (*#Quadras*) multiplicado por 110 (que se refere ao comprimento padrão de 100 metros de cada quadra, mais a largura padrão de 10 metros de cada rua) somado a 10 (largura de mais uma rua) – o que equivale ao tamanho do lado da área simulada – multiplicado pela raiz quadrada de 2, correspondendo assim à diagonal dessa região. Dessa forma, calcula-se a máxima distância em linha reta que se pode obter nessa área.

O numerador corresponde à distância entre o socorrista e a vítima. Ao ser multiplicado por 100 e dividido pelo denominador explicado no parágrafo anterior, obtém-se a proporção da distância de atendimento em relação ao pior caso (máxima distância na área). Quando esse valor é subtraído de 100, obtém-se a relação inversa: a proporção em relação ao melhor caso.

Sendo assim, quando a distância do socorrista à vítima for a maior possível (próximo ao tamanho da diagonal da área), a divisão resultará em 100, que subtraído de 100 será zero. De

forma análoga, quando a distância do socorrista à vítima for mínima (estiverem muito próximos), o resultado da divisão se aproximará de 0, que subtraído de 100 será quase integralmente o valor 100. Esse valor, multiplicado pelo peso $(1 - p)$, indica o grau de influência que a variável *Distancia* exerce sobre o cálculo da prioridade de atendimento dessa vítima.

Dessa forma, as composições de valores das variáveis *Nivel* e *Distancia* alcançam um valor máximo de 100 para o melhor caso e, multiplicadas respectivamente pelos pesos p e $(1 - p)$, e somadas, reflete em um resultado final de prioridade de atendimento variando de 0 até 100. A determinação dos valores desses pesos é analisada em casos de teste no Capítulo 6, e constitui um item regulável na solução proposta.

4.4 Formato da Mensagem

As mensagens enviadas pelas vítimas precisam conter uma identificação única (tipo inteiro de 4 bytes), nível de emergência (tipo inteiro de 1 byte) e coordenadas do GPS ou do posicionamento manual no mapa (8 tipos inteiros de 1 byte para os respectivos graus, minutos e segundos da latitude e longitude; mais 1 tipo inteiro de 1 byte para indicar se é norte ou sul, e leste ou oeste).

A área de texto, para complementar informações sobre o estado de saúde ou da localização da vítima, deve ser curta o suficiente para expressar objetivamente essas informações e agilizar a locomoção do socorrista, mas grande o suficiente para conter a informação necessária. Uma solução há muito adotada no Japão são os *Disaster Message Boards*, mencionados na Seção 2.3.1. O serviço da DOCOMO (2020) permite mensagens de até 200 caracteres. Com base nisso, é definido uma mensagem de texto de até 300 caracteres (600 bytes em UTF-16).

Além das informações da vítima, a mensagem carrega informações do socorrista que definiu atendê-la. Deve haver a identificação única do socorrista (tipo inteiro de 4 bytes), nível de prioridade que ele calculou (tipo real de 4 bytes), e a ordem de emissão de mensagem pelo socorrista (tipo inteiro de 2 bytes). Dessa forma, a estrutura da mensagem, totalizando 624 bytes, é representada na Figura 4.5.

ID VÍTIMA 4 bytes	NÍVEL 1 byte	GPS 9 bytes	TEXTO 600 bytes	ID SOCORRISTA 4 bytes	PRIORIDADE 4 bytes	ORDEM 2 bytes
----------------------	-----------------	----------------	--------------------	--------------------------	-----------------------	------------------

Figura 4.5: Formato da mensagem de emergência.

Um pacote Bluetooth 4.2 ou 5.0 pode possuir um *payload* de até 251 bytes mais 14 bytes de cabeçalho (PUNCHTHROUGH, 2019). Um pacote Wi-Fi pode possuir um *payload* de até 2312 bytes mais 34 bytes de cabeçalho (WITESTLAB, 2017).

4.5 Envio e Repasse da Mensagem

Para a melhor comunicação e sincronização de ações entre os socorristas, é necessário definir os papéis dos nós na rede, estabelecer regras para o envio e, principalmente, para o repasse das mensagens, tornando eficiente a atualização das informações pela rede. Os diferentes tipos de nós da rede estão representados por três categorias na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Categoria dos nós na rede.

Categoria	Descrição
Cidadão	É o civil saudável. Executa um modelo de mobilidade que determina seu deslocamento nas redondezas da residência (mencionado na Seção 5.1.1). A aplicação de um cidadão automaticamente repassa e recebe tabelas de vítimas de outros nós.
Vítima	É o civil vítima do desastre natural. Permanece imóvel e solicita atendimento ao socorrista, gerando a mensagem de emergência a ser propagada por outros nós. Também recebe e repassa tabelas de vítimas de outros nós.
Socorrista	É o membro da equipe de resgate. Executa um modelo de mobilidade que determina sua rota de busca (mencionada na Seção 5.1.4). A aplicação de um socorrista, ao receber tabelas de vítimas de outros nós, recalcula a prioridade para as vítimas, e orienta o deslocamento do socorrista até a vítima com maior prioridade e que não esteja em atendimento. Ao não ter nenhuma vítima a ser atendida, retorna à sua rota de busca.

Essas categorias possuem regras definidas que determinam o comportamento da aplicação diante de diferentes casos detalhados abaixo.

- Vítima:
 - Geração de mensagem: preenche o campo ID VÍTIMA, o nível de emergência determinado pela vítima, o campo de GPS caso possível, e um texto de localização, obrigatório caso o GPS não esteja operante. Os demais campos são nulos. Aloca essa mensagem em sua tabela de vítimas.

- Vítima, Cidadão e Socorrista:
 - Recebimento de mensagem e atualização da tabela de vítimas: São possíveis quatro verificações em relação à mensagem recebida. (i) Se não possuir uma mensagem do mesmo ID VÍTIMA na sua tabela de vítimas (sendo uma nova entrada de vítima na tabela), insere essa mensagem na tabela. (ii) Se já tiver listado em sua tabela outra vítima para o mesmo ID SOCORRISTA dessa mensagem recebida, mantém apenas a mensagem de maior ORDEM, que é a mais recente do socorrista, e para a outra, zera o campo de SOCORRISTA, PRIORIDADE e ORDEM. (iii) Se houver uma mensagem do mesmo ID SOCORRISTA (para ID VITIMA diferentes) com prioridade maior do que 100 (representa que já efetuou o atendimento para essa vítima), essa mensagem é mantida mesmo com esse socorrista atendendo uma nova vítima. (iv) Se já possuir o ID VÍTIMA na tabela, e for de um ID SOCORRISTA diferente, verifica qual das duas possui maior valor de PRIORIDADE e mantém essa mensagem na tabela. (v) Se for do mesmo ID VÍTIMA e ID SOCORRISTA, mas com valor distinto de ORDEM, é mantida a mensagem de maior ORDEM (caso em que o socorrista abandonou ou mudou o atendimento e depois retornou a indicar o atendimento para essa mesma vítima). Esses cinco casos são ilustrados na Figura 4.6.
 - Repasse de mensagens: envia sua tabela de vítimas para os nós ao alcance. Isso é feito 3 vezes: o nó em escaneamento (conforme Algoritmo 1) envia a tabela, depois recebe, e depois reenvia. Isso é necessário para haver completa sincronização das tabelas. Para o caso de socorristas, é necessário realizar esse repasse até mais duas vezes.
- Socorrista:
 - Atualização de atendimento: após a atualização da tabela de vítimas, recalcula a prioridade para todas (inclusive a vítima para a qual eventualmente esteja se deslocando). Se não houver nenhuma outra vítima disponível, continua sua ação atual. Se houver outras vítimas e a prioridade calculada não superar a informada pelos socorristas em deslocamento para estas, continua sua ação atual de busca ou atendimento para a vítima já identificada. Se houver vítimas disponíveis, ou a prioridade calculada superar a do socorrista associado para atendimento a essa vítima, e ainda se essa prioridade for maior que a prioridade recalculada para a

vítima atual do próprio socorrista, então ele seleciona a nova vítima de maior prioridade disponível, atualiza o atendimento da mensagem indicando o seu ID, e orienta o deslocamento para essa nova vítima. Isso é denominado de “Mudança Ativa” (o próprio aplicativo do socorrista selecionou outra vítima).

Se a atualização na tabela informar outro socorrista com maior prioridade atendendo a mesma vítima do próprio socorrista (o atendimento do próprio socorrista foi retirado da tabela) é interrompido o deslocamento atual. A partir disso, recalcula as prioridades na tabela de vítimas e identifica se há outra que possa atender, e se houver, redireciona seu deslocamento para atender essa vítima. Isso é denominado de “Mudança Passiva” (o socorrista perdeu a prioridade de sua vítima, e teve que selecionar outra). Se não houver, então é direcionado para retornar a sua rota de busca.

- Atualização da mensagem da vítima: Ao selecionar nova vítima para atender, associa seu ID à mensagem dela, e incrementa o contador de ORDEM em 1. Se já estiver em deslocamento para atendimento de outra vítima, gera uma atualização extra: na mensagem dessa vítima, incrementa o contador de ORDEM em 1 (mesmo número da mensagem anterior), e configura a PRIORIDADE em 0.

Quando alcança a vítima, o socorrista gera uma nova atualização, incrementando a ORDEM em 1, e configurando a PRIORIDADE em 101. Essa mensagem não é mais modificada na troca das tabelas (pois alcançou a maior prioridade), e atualizará todas as demais mensagens associadas a essa vítima nas tabelas de outros nós.

- Ações: Quando estiver no atendimento da vítima em si (após alcançar a vítima e antes do término do atendimento) não é realizado as etapas de “Atualização de atendimento” e “Geração de Mensagens”, pois o socorrista não é considerado disponível na rede nesse momento. Quando recebe a primeira definição de atendimento, marca o ponto de parada na rota de busca e se desloca para a vítima. Ao concluir o atendimento, ou este ser cancelado durante o deslocamento, o socorrista recalcula as prioridades em sua tabela e verifica se há nova vítima para atender. Se houver, se desloca até ela, se não houver, retorna ao ponto de parada na rota de busca e continua pela procura de vítimas.

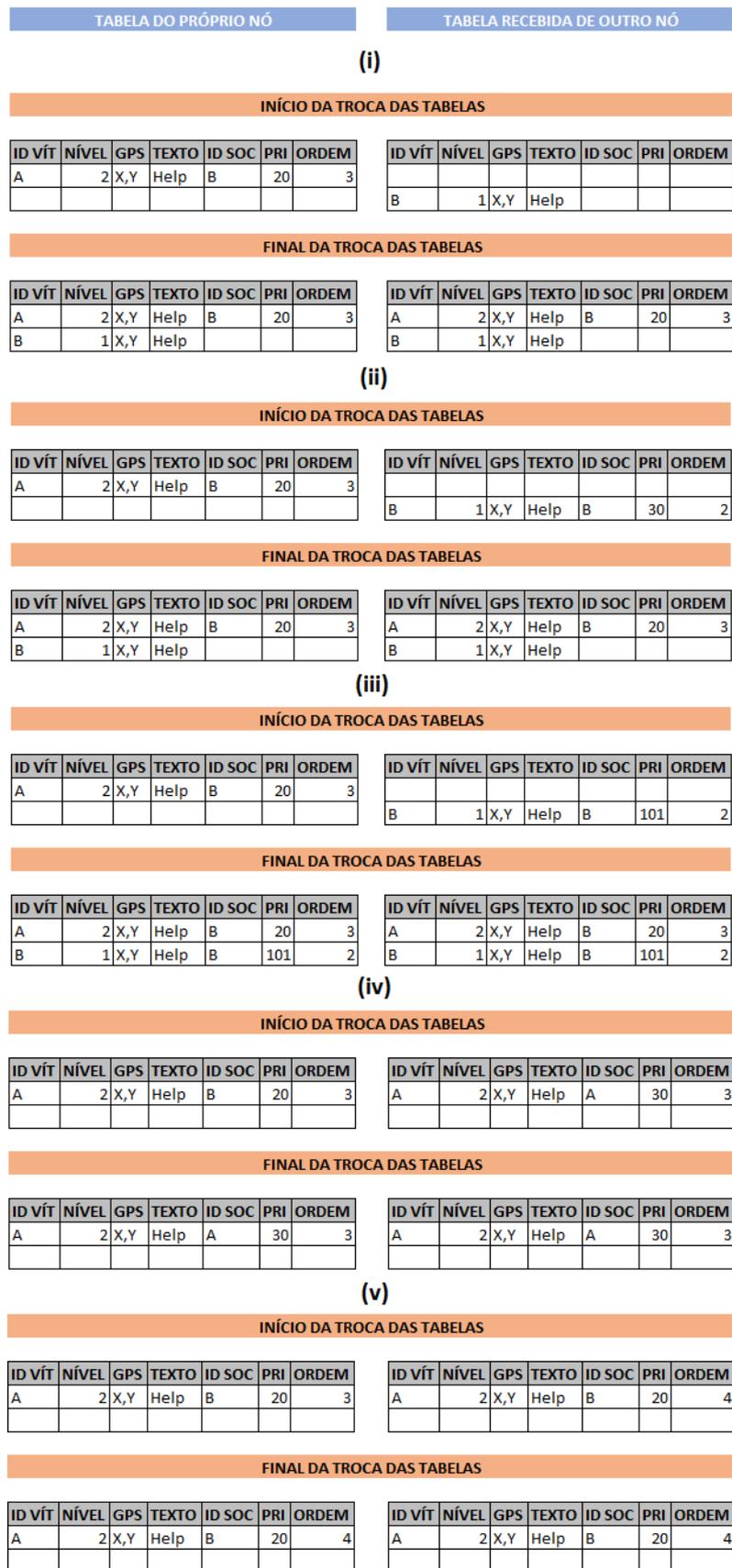


Figura 4.6: Casos de atualização da tabela.

A Figura 4.7 ilustra a dinâmica dessas regras em um caso amplo. O socorrista B (SB) está a caminho de atender a vítima B (VB) com uma prioridade de 40. Paralelamente, o socorrista A (SA) se comunica com o cidadão C (CC), recebendo sua tabela de vítimas e por consequência tomando conhecimento da vítima A (VA) e da vítima C (VC). Por ter inserido novas vítimas em sua tabela, SA calcula a prioridade para VA e VC, determinando que a prioridade de VA é maior (60) e definindo seu atendimento para ela. Posteriormente, SA se aproxima do cidadão B (CB), suas aplicações se comunicam, e SA repassa sua tabela de vítimas.

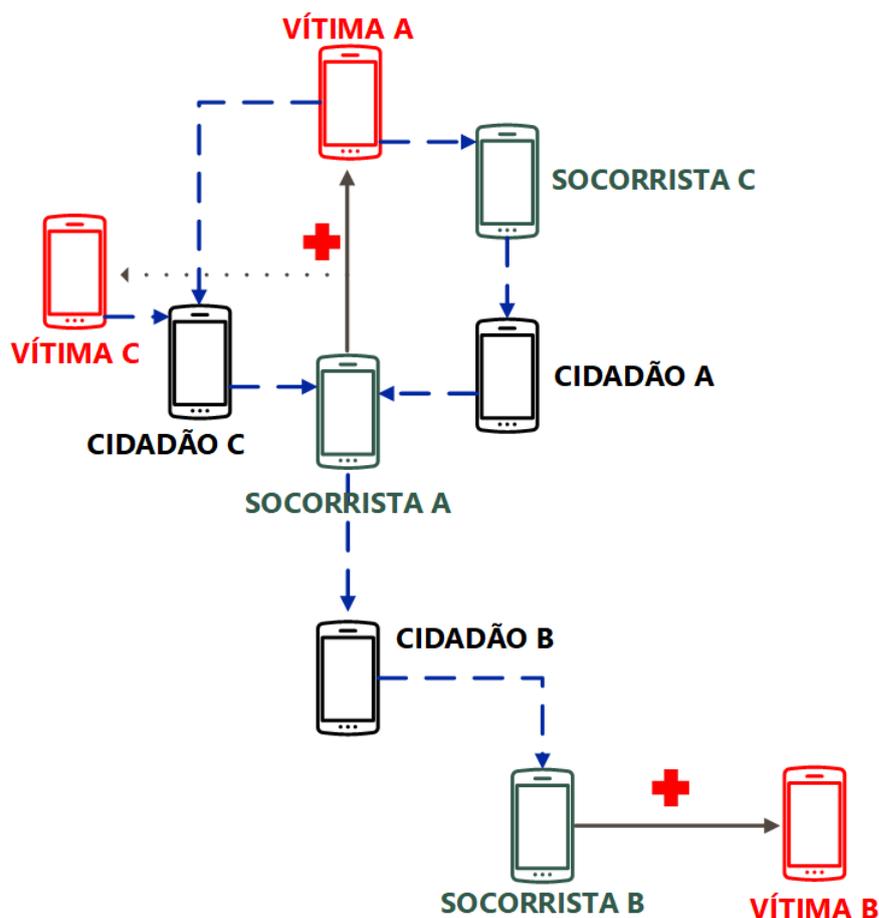


Figura 4.7: Interação dos socorristas.

Em um momento seguinte, SB se aproxima de CB, as aplicações trocam tabelas e SB toma conhecimento de VA e VC, provocando a necessidade de SB recalcular as prioridades para todas as vítimas, tanto aquelas previamente inseridas na sua tabela (VB) quanto as recém-inseridas (VA e VC). SB atualiza a prioridade para VB em 45 (para a qual já está em atendimento). Ao mesmo tempo, SB calcula que a prioridade para VA é 50, maior que sua prioridade de atendimento atual (45) para VB, mas ainda menor que a calculada por SA para VA (60), que foi informada juntamente com a mensagem recebida de VA. SB também calcula

a prioridade para VC, que é menor do que sua prioridade atual para VB, e portanto a aplicação de SB não muda seu atendimento e permanece com VB.

Por fim, SA está a caminho de VA, quando se aproxima do cidadão A (CA). SA, ao se comunicar com CA, recebe a sua tabela de vítimas e a mensagem de que VA está em atendimento pelo socorrista C (SC) com prioridade de 70. CA percebe que SC tem maior prioridade e descarta a mensagem de SA. Paralelamente, SA atualiza sua tabela, e por SC ter maior prioridade sobre VA em relação ao próprio SA, SA perde a prioridade de seu atendimento e o cancela. A aplicação de SA recalcula sua prioridade para as demais vítimas em sua tabela e redireciona um novo atendimento para VC, atualizando a mensagem de VC com seus dados (SA) e com ordem $n + 1$.

Destaca-se que a troca de tabelas de vítimas tem que ocorrer três vezes, para a completa sincronização das tabelas de ambos os nós. As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 ilustram, respectivamente, a troca de tabelas entre o Socorrista A e o Cidadão C; entre o Socorrista B e o Cidadão B; e entre o Socorrista A e o Cidadão A, conforme ilustrado na Figura 4.7. Nessas representações, os valores de ID são letras (na implementação da simulação, são números) e os valores de GPS são apenas representados por “X,Y”.

TABELA DO SOCORRISTA A							TABELA DO CIDADÃO C						
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
							A	2	X,Y	Help			
							C	2	Z,W	Help			
SOCORRISTA A ENVIA SUA TABELA PARA O CIDADÃO C													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
							A	2	X,Y	Help			
							C	2	Z,W	Help			
CIDADÃO C ENVIA SUA TABELA PARA O SOCORRISTA A													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
A	2	X,Y	Help	A	60	1	A	2	X,Y	Help			
C	2	Z,W	Help				C	2	Z,W	Help			
SOCORRISTA A ENVIA SUA TABELA PARA O CIDADÃO C													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
A	2	X,Y	Help	A	60	1	A	2	X,Y	Help	A	60	1
C	2	Z,W	Help				C	2	Z,W	Help			

Figura 4.8: Troca de tabelas – Socorrista A e Cidadão C.



Figura 4.9: Troca de tabelas – Socorrista B e Cidadão B.

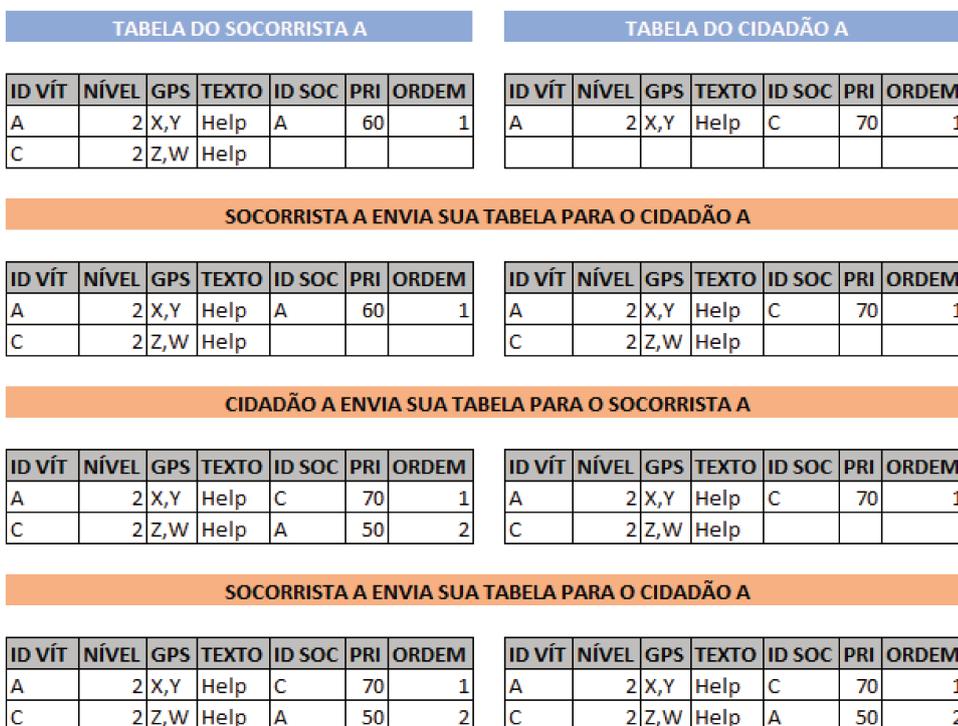


Figura 4.10: Troca de tabelas – Socorrista A e Cidadão A.

Apesar dessas ilustrações indicarem três trocas de tabelas, quando a permuta ocorre diretamente entre dois socorristas, é necessário haver até cinco trocas de tabelas. A Figura 4.11 demonstra a necessidade de quatro trocas. Nesse caso, o Socorrista A calculou que sua prioridade era maior do que a do Socorrista B. Porém, em seguida, o Socorrista B recalculou a sua prioridade, e verificou que era maior do que a prioridade de A.

TABELA DO SOCORRISTA A							TABELA DO SOCORRISTA B						
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
							A	2	X,Y	Help	B	20	1

SOCORRISTA A ENVIA SUA TABELA PARA O SOCORRISTA B													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
							A	2	X,Y	Help	B	20	1

SOCORRISTA B ENVIA SUA TABELA PARA O SOCORRISTA A													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
A	2	X,Y	Help	A	30	1	A	2	X,Y	Help	B	20	1

SOCORRISTA A ENVIA SUA TABELA PARA O SOCORRISTA B													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
A	2	X,Y	Help	A	30	1	A	2	X,Y	Help	B	40	2

SOCORRISTA B ENVIA SUA TABELA PARA O SOCORRISTA A													
ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM	ID VÍT	NÍVEL	GPS	TEXTO	ID SOC	PRI	ORDEM
A	2	X,Y	Help	B	40	2	A	2	X,Y	Help	B	40	2

Figura 4.11: Troca de tabelas: Socorristas (4 trocas).

A Figura 4.12 demonstra a necessidade de cinco trocas. Nesse caso o Socorrista A calculou sua prioridade como maior para a Vítima A. Em seguida, o Socorrista B recalculou a sua prioridade, que era maior do que a calculada por A. Ao informar o Socorrista A, este assume a Vítima B, e o Socorrista B é informado sobre a nova vítima escolhida por A. Portanto, esses repasses a mais ocorrem quando há disputa direta entre os socorristas pela mesma vítima.

Observa-se que a estrutura das tabelas ao final dos repasses, em algumas circunstâncias específicas, pode representar elementos diferentes dependendo de qual nó realizar o primeiro envio.



Figura 4.12: Troca de tabelas: Socorristas (5 trocas).

As Figuras 4.13 e 4.14 representam, respectivamente, o envio iniciado pelo cidadão e o envio iniciado pelo socorrista.

A circunstância específica em análise acontece quando a troca de tabelas ocorre entre o nó Socorrista A que está em atendimento para uma Vítima A, e outro nó que possui outras informações. Entre essas informações, uma é em relação a outro socorrista com prioridade menor para atendimento da mesma Vítima A; e outra vítima com maior prioridade do que a vítima em atendimento pelo Socorrista A. É um caso bem específico, que apresenta tabelas finais diferentes dependendo de qual nó envia primeiro a mensagem.

O resultado mais adequado, seria o representado na Figura 4.13, com o Socorrista A em atendimento para a vítima A, e o Socorrista C para a Vítima B. Na Figura 4.14, perde-se a



Figura 4.13: Troca de tabelas: Problema (Início - Cidadão).

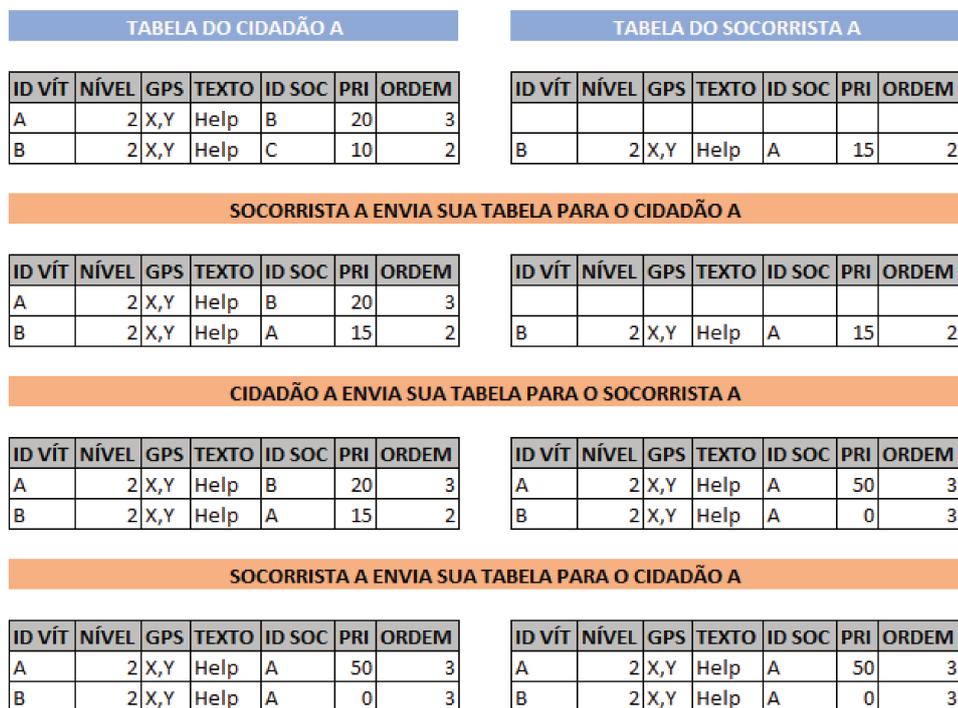


Figura 4.14: Troca de tabelas: Problema (Início - Socorrista).

informação de que o Socorrista C atenderia a Vítila B, ficando uma mensagem cancelada, sem nenhum socorrista atrelado a essa vítima.

Contudo, isso não seria um problema com consequências negativas para a rede. É um problema localizado, que a própria dinâmica da rede consertaria. A mensagem “anulada”, representada pela PRIORIDADE 0, indica que qualquer outra informação de atendimento dessa vítima (com prioridade acima de zero) atualizaria essa mensagem. Por isso, essa mensagem não se propagaria pela rede anulando outras mensagens para essa vítima. Seriam outras mensagens que se sobreporiam a essa.

Nesse exemplo, o que seria esperado é que os nós vizinhos ao Cidadão A teriam a mensagem de que o Socorrista C estaria em atendimento para a Vítima B, e atualizariam novamente o Cidadão A com essa informação. Isso poderia, em uma segunda troca de tabelas, atualizar o Socorrista A.

4.6 Busca por Nós

A rede *ad hoc* formada pelos *smartphones* é constituída por conexões Bluetooth e Wi-Fi Direct. A rede pode ser configurada para utilizar somente um dos dois sinais, ou ambos, por meio de dois modos. O modo alternado permite somente uma conexão Bluetooth ou Wi-Fi Direct por vez, pois somente um desses sinais estará ativo dentro de um período, alternando ao fim desse tempo. O modo simultâneo, ou paralelo, mantém os dois meios constantemente ativos.

Para ocorrer uma conexão, um dispositivo precisa estar em modo *descoberto* permitindo ser identificado, e o outro precisa estar em modo de *escaneamento*, buscando identificar um dispositivo. Essa é a principal razão para se propor a utilização de ambos os meios, ao invés de apenas o Wi-Fi Direct, que possui maior alcance de sinal: dois nós podem estar próximos, mas ambos em modo de *escaneamento* por Wi-Fi Direct, o que impediria sua conexão. Porém, por Bluetooth, podem estar em modos distintos, o que permitiria a conexão.

A busca e conexão dos nós é especificada no Algoritmo 1, que representa a interação por Wi-Fi Direct. Basta observar que, para conexão com ambos sinais, caso em modo alternado, essa mesma lógica é aplicada para o Bluetooth, procedendo os laços do Wi-Fi Direct. Caso em modo simultâneo, existirá o mesmo algoritmo para ambos os meios, sendo executados em paralelo e compartilhando a *lista de conexões*.

Há um total de quatro estados: *escaneamento* e *descoberta*, sendo um para cada tipo de sinal, Bluetooth e Wi-Fi Direct. Cada um desses estados pode possuir um tempo de duração distinto, configurado na aplicação. Porém, uma observação importante é que haja uma

Algoritmo 1: Busca e conexão de nós por *Wi-Fi Direct*.

```

Entrada: fila_de_conexoes; /* relação de nós conectados. */
1 enquanto busca_em_andamento faça
2   tempo ← 0;
3   tempo_estado_wifi_descoberta ← var_config ± tempo_aleatorio (%20);
4   interface_wifi ← discoverable_on; /* hotspot. */
5   enquanto tempo < tempo_estado_wifi_descoberta faça
6     se solicitacao_conexao então
7       interface_wifi ← discoverable_off
8       enquanto transmissao_wifi faça
9         recebe tabela_vitimas;
10        envia tabela_vitimas;
11        recebe tabela_vitimas;
12        tempo_transmissao_wifi ++;
13      fim
14      tempo ← tempo + tempo_transmissao_wifi;
15      interface_wifi ← discoverable_on;
16    fim
17    tempo ++;
18  fim
19  interface_wifi ← discoverable_off;
20  tempo ← 0;
21  tempo_estado_wifi_scan ← var_config ± tempo_aleatorio (%20);
22  interface_wifi ← inquiring_on; /* scan. */
23  enquanto tempo < tempo_estado_wifi_scan faça
24    se nos_proximos ≠ 0 então
25      interface_wifi ← inquiring_off
26      solicitacao_conexao ← fila_nos(posicao_1);
27      enquanto transmissao_wifi faça
28        envia tabela_vitimas;
29        recebe tabela_vitimas;
30        envia tabela_vitimas;
31        tempo_transmissao_wifi ++;
32      fim
33      envia fila_nos(posicao_1) para fila_nos(ultima_posicao);
34      tempo ← tempo + tempo_transmissao_wifi;
35      interface_wifi ← inquiring_on;
36    fim
37    tempo ++;
38  fim
39  interface_wifi ← inquiring_off;
40 fim

```

margem aleatória de diferença desses tempos entre os vários dispositivos da rede. Esse princípio é semelhante ao tempo de *backoff* utilizado para evitar colisões em transmissões com meios compartilhados. Mas, nessa rede *ad hoc*, o princípio é aplicado para não ocorrer o mesmo estado, ao mesmo tempo, por diferentes dispositivos, impedindo ou diminuindo a probabilidade de um dispositivo conseguir identificar o outro. Dessa forma, há um tempo aleatório aplicado para aumentar ou diminuir em até 20% o tempo padrão do estado. Assim, há uma maior probabilidade dos dispositivos apresentarem um tempo de intersecção entre seus modos de escaneamento e descoberta de suas interfaces.

Quando em modo *descoberta* e o dispositivo for acionado para uma conexão, são trocadas as *tabelas das vítimas* dos dois dispositivos, e o dispositivo atual continua disponível para novas conexões até o final do *tempo_descoberta*. Caso esteja em transmissão ou conexão quando esse tempo acabar, aguarda-se até o final da transmissão antes de alterar o estado, sem interromper uma troca de tabelas em andamento.

Quando em modo *escaneamento* são identificados os dispositivos ao alcance e alocados em uma *fila de conexões* para determinar a ordem de nós a ser seguida para troca de tabelas. O primeiro nó dessa fila indica, entre os dispositivos ao alcance, qual é o dispositivo com o qual não se conectou ainda, ou o que se conectou a mais tempo, e assim, permite realizar a conexão com esse. Ao final da transmissão, atualiza-se essa fila com este nó sendo movido ao final e, novamente, o dispositivo se conecta ao nó mais antigo na fila, que agora será o novo primeiro nó. Assim se procede até percorrer todos os dispositivos da lista, ou até o final do *tempo_escaneamento*. Ao percorrer todos os elementos da fila, se ainda estiver no tempo de escaneamento, volta a trocar tabelas com os mesmos nós.

Uma observação importante é que esta fila é compartilhada entre os meios de transmissão. Portanto, em caso de transmissão simultânea por Bluetooth e Wi-Fi Direct, não ocorre a transmissão para o mesmo nó, pois há um gerenciamento para verificar o nó a se conectar por cada interface, e assim otimizar a escolha com nós distintos. Atesta-se a viabilidade da transmissão por Bluetooth e Wi-Fi Direct simultaneamente, pois são meios distintos e testes práticos comprovaram essa possibilidade.

Apesar do maior consumo de energia, o Wi-Fi apresenta maior alcance e um aumento na probabilidade de identificar outros nós. Contudo, não se pode descartar a interface Bluetooth, seja pela necessidade de economia de energia, ou seja pela possibilidade de estabelecer duas conexões, por Wi-Fi e Bluetooth, tornando a rede mais eficiente na propagação das mensagens.

Conforme ilustrado na Figura 4.15, o nó 2 possui um raio de alcance para o Bluetooth, representado pelo círculo em azul, e um raio de alcance para o Wi-Fi Direct, representado pelo círculo em cinza. O nó 2 está em modo de escaneamento pelo Bluetooth, e em modo de descoberta pelo Wi-Fi Direct. Por isso, pode se comunicar com o nó 1, que está ao alcance do raio do Wi-Fi Direct, em modo de escaneamento. Porém, não pode se comunicar com o nó 3, também em modo de descoberta pelo Wi-Fi Direct. Por isso a vantagem de utilizar o meio Bluetooth: o nó 3 está ao alcance do raio do Bluetooth, em modo de descoberta, e por isso pode estabelecer uma conexão com o nó 2.

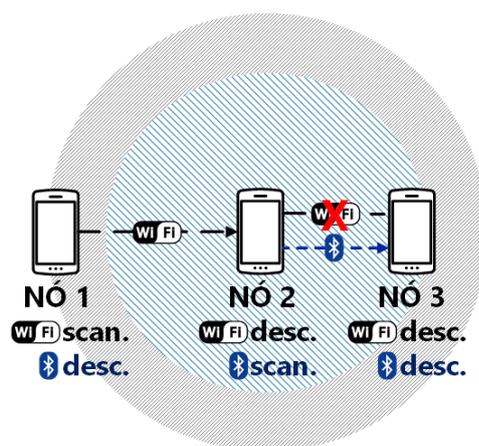


Figura 4.15: Conexões com diferentes meios.

4.7 Considerações do Capítulo

A solução deste trabalho é uma aplicação para *smartphones*. Portanto, é um recurso que se vale das tecnologias de comunicação oferecidas por estes dispositivos móveis, se ajusta aos recursos disponíveis nesses dispositivos e à forma como operam em constante mobilidade.

Devido à locomoção das pessoas que carregam os *smartphones*, ainda mais considerando a ocorrência de um evento como um desastre natural, o que deve “agitar” os nós da rede, estes dispositivos podem enfrentar conexões e desconexões com frequência. Esse comportamento caracteriza mais uma DTN do que uma MANET e, por isso, é necessário um mecanismo de armazenamento das mensagens para repasse em futuras conexões.

Para esse tipo de rede com uma topologia altamente dinâmica, é habitual a adoção de um protocolo epidêmico, de abordagem reativa, devido à difícil previsibilidade de rota na rede. Com essa abordagem, a mensagem é disseminada pela rede, uma vez que o caminho ao destinatário não é conhecido. Porém, essa mensagem, que corresponde ao pedido de socorro

da vítima, pode alcançar múltiplos destinatários (socorristas). Por isso, mecanismos de minimização da redundância são implementados.

Pela descrição do cenário enfrentado e pela necessidade de entrega urgente das mensagens, diversos recursos são explorados e abordagens são implementadas para alcançar o objetivo da comunicação e atendimento rápido das vítimas. Todos os meios de comunicação sem fio disponíveis são utilizados (Bluetooth e Wi-Fi Direct), é definido um formato de mensagem enxuta, mas com as informações cruciais para a comunicação das vítimas, e se aplica uma lógica de priorização das vítimas e tratamento de redundâncias. Essa abordagem é direcionada para a identificação da localização da vítima e uma orientação quanto ao melhor socorrista para atendê-la.

Essa solução depende da adoção e conscientização da população, para um uso eficaz e correto da aplicação. Ainda, pode haver cidadãos que não possuam *smartphones*, ou não consigam acioná-lo quando for preciso, ou ainda estejam inconscientes devido as consequências do desastre natural. Nesses casos, o aplicativo permite acionamento por terceiros.

Capítulo 5

Ferramenta de Simulação de Redes Ad Hoc Baseadas em *Smartphones* para Ocorrências de Desastres Naturais

Neste trabalho, desenvolveu-se uma ferramenta em linguagem Java, com interface gráfica, que permite uma configuração prática de simulações restritas a testes de redes *ad hoc* baseadas em *smartphones* para atendimento de vítimas de desastres naturais. Essa ferramenta não simula apenas o cenário e a existência de uma rede *ad hoc*, mas também a abordagem adotada para o atendimento das vítimas utilizando-se da existência dessa rede, permitindo testar a solução proposta.

Dessa forma, essa ferramenta engloba as variáveis de interesse desse cenário em específico, permitindo a comparação de diferentes configurações e a influência dessas alterações na solução de atendimento proposta. Isso permite a análise do impacto no tempo de ação e facilita assim a busca pela melhor configuração da solução em análise.

Com o uso dessa ferramenta são realizados testes para buscar indícios da melhor configuração da solução proposta no Capítulo 4. Com a divulgação dessa ferramenta (GITHUB, 2020) abre-se a possibilidade para que outros pesquisadores expandam o seu desenvolvimento e acrescentem novas variáveis de interesse, e assim possam comparar suas próprias soluções com a de outros trabalhos.

Essa ferramenta não é apenas um produto desse trabalho, mas representa também a metodologia com que as simulações são executadas para se alcançar os resultados analisados, a fim de avaliar a solução proposta no Capítulo 4. Sendo assim, esse capítulo detalha todas as

variáveis da ferramenta, descrevendo algoritmos adotados, valores assumidos, medições realizadas, ilustrando configurações e fornecendo informações para se compreender seu desenvolvimento e uso.

5.1 Variáveis de Entrada

A primeira janela da ferramenta corresponde às entradas de variáveis da simulação. Há variáveis em comum que são agrupadas em seis conjuntos para melhor visualização na configuração. Esses valores podem ser salvos em formato de uma *string* para futuro carregamento e nova execução da simulação.

A *string* de entrada, gravada em arquivo texto, é composta por 73 valores numéricos, sendo três destes compostos por outros conjuntos de valores (variáveis #6 e #7 da Seção 5.1.1 e variável #3 da Seção 5.1.4), separados por ponto e vírgula, conforme a sequência dessas variáveis na janela de entrada. Os detalhes dos valores dessa *string* são apresentados nessa seção. A imagem da janela contendo todas as variáveis de entrada, conforme visualizado na ferramenta, é apresentada no Apêndice B.

5.1.1 Cenário e Cidadãos

A Figura 5.1 representa o conjunto de configurações de variáveis relacionadas ao cenário da simulação e aos cidadãos com *smartphones* participantes da rede *ad hoc*. Cada número em vermelho representa uma variável.

Cenário e Cidadãos	
1	Tamanho da Área: <input type="text" value="15"/> quadras de lado
2	Número de Cidadãos: <input type="text" value="225"/> cidadãos
3	Densidade: 81.65 cidadãos/km ²
4	Modelo de Mobilidade: <input type="text" value="RWP Adaptado"/>
5	Vizinhança: <input type="text" value="0"/> quadras
6	Alagamentos: <input type="text" value="1,1,4-2,1,4-3,1,4-4,1,4-5,1,4-6,1,4-7,1,4-8,1,4-9,1"/>
7	Escombros: <input type="text" value="2,1,4-4,1,4-6,1,4-8,1,4-10,1,4-12,1,4-14,1,4-1,2,4"/>
8	Tempo de Início: Min: <input type="text" value="1"/> Max: <input type="text" value="2"/> segundos

Figura 5.1: Grupo de variáveis – Cenário e Cidadãos.

A variável #1 corresponde ao tamanho da área da simulação, formando uma região quadrada que representa uma área urbana. Deve ser informado um número inteiro que

indique a quantidade de quadras (quarteirões) que a região possui por lado. Por exemplo, ao ser inserido o número 10, será criada uma região com 100 quadras (10×10). Cada quadra possui 100 metros por lado, separadas por ruas de 10 metros de largura. A medida adotada corresponde ao tamanho médio de uma quadra de 10 mil metros quadrados (1 hectare) (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014). Deve ser inserido um valor maior ou igual a 2, equivalente a uma região de 2×2 quadras (4 quadras).

A variável #2 corresponde ao número de cidadãos com *smartphones* presentes na área simulada. Deve ser inserido um número inteiro até uma quantidade máxima correspondente a dez cidadãos por cada lado de uma quadra ($quantidade_total_de_quadras \times 4 \times 10$), o que já representa uma alta densidade.

Cada cidadão, ao início da simulação, é alocado dentro de uma quadra em um local correspondente à sua residência. A distribuição dos cidadãos pelas quadras segue o Algoritmo 2 que permite uma distribuição uniforme dos cidadãos pelas quadras da região simulada, e também pelos lados de cada quadra. Ao final, o algoritmo retorna a quantidade de cidadãos que devem ser alocados em cada lado de cada quadra. Em seguida, o comprimento da quadra é dividido uniformemente para alocar cada cidadão de maneira equidistante.

Algoritmo 2: Distribuição dos cidadãos pelas quadras.

```

Entrada: num_cidadaos; num_quadras;
Saída: num_cidadaos_lado_quadra;
1  quociente ← num_cidadaos div num_quadras;
2  resto ← num_cidadaos mod num_quadras;
3  lado ← sul; /* indica o lado da quadra em que alocará os cidadãos.      */
4  enquanto quociente > 0 faça
5      lado ← proximo_lado; /* proximo_lado segue a ordem cíclica: leste,
                           norte, oeste, sul.                                */
6      para cont = 1 até num_quadras faça
7          cada quadra recebe +1 cidadão no lado lado;
8      fim
9      quociente ← quociente - 1;
10 fim
11 espaco_quadra ← num_quadras div resto;
12 proxima_quadra ← 1;
13 lado ← proximo_lado;
14 para cont = 1 até resto faça
15     quadra proxima_quadra recebe +1 cidadão no lado lado;
16     proxima_quadra ← proxima_quadra + espaco_quadra;
17 fim
18 retorna num_cidadaos_lado_quadra;

```

A variável #3 corresponde à densidade de cidadãos com *smartphones* na região simulada, seguindo um padrão comumente adotado em estatísticas demográficas de quantidade de habitantes por km^2 . Essa medida é calculada automaticamente dividindo-se a variável #2 por $(\text{variável \#1} \times 110 + 10)^2$, sendo o divisor normalizado para 10^6 (de metros quadrados, ou 1 km^2).

A variável #4 corresponde ao modelo de mobilidade adotado pelos cidadãos. É possível escolher entre dois modelos:

- RWP Adaptado: É o modelo de mobilidade *Random WayPoints* adaptado à finalidade da simulação. Como a área de simulação não é um espaço aberto, mas delimitada por vias de locomoção (ruas), o modelo RWP foi adaptado conforme descrito no Algoritmo 3. Esse modelo se baseia em apontamentos realizados no artigo de Stute et al. (2017), onde é mencionado que, logo após a ocorrência de um desastre natural, a maioria dos cidadãos permanecem em suas residências ou tentam encontrar amigos e familiares nas redondezas próximas. Dessa forma, o Algoritmo 3 simula o caminhar aleatório nas proximidades da residência, realizando eventuais paradas para verificação dos danos causados pelo desastre ou auxílio aos vizinhos, além do retorno e pausa na residência para descanso ou busca por algum recurso. A velocidade é definida por uma variável especificada na Seção 5.1.2.
- Evacuação: Cada cidadão se desloca diretamente para fora da área simulada. O cidadão se locomove em linha reta para a fronteira ao sul da região, se movendo até o meio dessa borda. Esse local corresponde ao ponto de partida dos socorristas, sendo uma via de entrada e saída da região.

A variável #5 corresponde à distância, em quadras, que o cidadão pode se afastar de sua residência, delimitando sua área de movimentação. Dessa forma, essa variável representa o que seria a sua “vizinhança”. Deve ser inserido um número inteiro de 0 até a quantidade de quadras ao lado da região simulada (variável #1). Essa variável está associada ao modelo de mobilidade RWP Adaptado.

A variável #6 corresponde às regiões alagadas na área simulada. Deve ser inserido uma *string* no formato: “*quadra_eixo_x, quadra_eixo_y, lado_da_quadra*”, onde a *substring quadra_eixo_x* corresponde à posição horizontal da quadra na região quadrada simulada; a *quadra_eixo_y* corresponde à posição vertical, e a *lado_da_quadra* corresponde a um

Algoritmo 3: RWP adaptado para a simulação.

```

Entrada: posicao_cidado; posicao_residencia; vizinhanca;
Saída: posicao_cidado;
1 se posicao_cidado é igual a posicao_residencia então
2   | cidadão se locomove até a frente da residência;
3 fim
4 direcao_locomocao ← opção aleatória entre norte, sul, leste ou oeste; /* exceto
   | em direção contrária à que veio, e direção que ultrapasse a vizinhanca
   | delimitada - variável #5 */
5 distancia_percorrer ← valor aleatório entre 60 e 600 metros;
6 velocidade ← valor aleatório entre min e max definidos na Seção 5.1.2.
7 tempo_pausa ← valor aleatório entre 0 e 300 segundos;
8 se distancia_percorrer < posicao_final_quadra - posicao_cidado então
9   | Efetuar o deslocamento conforme direcao_locomocao, distancia_percorrer e
   | velocidade;
10  enquanto deslocamento sendo efetuado faça
11    | se posicao_cidado é em frente a posicao_residencia então
12      | Cidadão se locomove até dentro da residência;
13      | Break; /* fim do laço. */
14    fim
15  fim
16  Pausar por tempo_pausa;
17 fim
18 senão
19   | Efetuar o deslocamento conforme direcao_locomocao e velocidade até o final da
   | quadra;
20  enquanto deslocamento sendo efetuado faça
21    | se posicao_cidado é em frente a posicao_residencia então
22      | Cidadão se locomove até dentro da residência;
23      | Pausar por tempo_pausa;
24      | break; /* fim do laço. */
25    fim
26  fim
27 fim
28 retorna posicao_cidado;

```

número inteiro (1: leste. 2: norte. 3: oeste. 4: sul), separados por vírgulas. O lado da quadra indicada terá o segmento de rua alagado, como ilustrado na Figura 5.2, o que diminuirá a velocidade de deslocamento nessa região, conforme definido na Seção 5.1.2. Essa *string* ainda pode conter várias quadras, separadas por traço simples, seguindo o formato: “*quadra_1_eixo_x, quadra_1_eixo_y, lado_quadra_1 - quadra_2_eixo_x, quadra_2_eixo_y, lado_quadra_2*” (sem espaços e sem aspas). Esse campo é de preenchimento opcional.



Figura 5.2: Quadra alagada.

A variável #7 corresponde aos escombros nas ruas. Deve ser inserida uma *string* no formato “*quadra_eixo_x, quadra_eixo_y, lado_da_quadra*”, onde a *substring quadra_eixo_x* corresponde à posição horizontal da quadra na região quadrada simulada; a *quadra_eixo_y* corresponde à posição vertical, e a *lado_da_quadra* corresponde a um número inteiro (1: leste. 2: norte. 3: oeste. 4: sul), separados por vírgulas. O lado da quadra indicada terá um escombros posicionado no meio do comprimento da quadra, como ilustrado na Figura 5.3, o que interromperá o deslocamento por um período aleatório entre 30 e 180 segundos. Essa *string* ainda pode conter várias quadras, separadas por traço simples, seguindo o formato: “*quadra_1_eixo_x, quadra_1_eixo_y, lado_quadra_1 - quadra_2_eixo_x, quadra_2_eixo_y, lado_quadra_2*” (sem espaços e sem aspas). Esse campo é de preenchimento opcional.

A variável #8 corresponde ao início do deslocamento dos cidadãos. Após o início da simulação, indicado na Seção 5.2.2, o deslocamento de cada cidadão terá início, em segundos, entre os valores indicados em *min* e *max*.



Figura 5.3: Quadra com escombros.

5.1.2 Velocidade de Deslocamento

A Figura 5.4 representa o conjunto de configurações de variáveis relacionadas à velocidade de deslocamento dos participantes da rede *ad hoc*. Cada número em vermelho representa uma variável.

Velocidade de Deslocamento	
1	Condição Normal: Min: 1.20 Max: 1.34 m/s
2	Em alagamento: Min: 0.6 Max: 0.67 m/s
3	Socorrista em Busca: Min: 1.30 Max: 2.00 m/s
4	Socorrista em Atendimento: Min: 2.20 Max: 2.70 m/s

Figura 5.4: Grupo de variáveis – Deslocamento.

A variável #1 corresponde à velocidade de deslocamento do cidadão, em metros por segundo (m/s). Embora seja difícil mensurar esse valor em uma situação de pós-desastre, adota-se para esse trabalho um valor médio de caminhada entre 1,2 m/s e 1,34 m/s (SCHIMPL et al., 2011).

A variável #2 corresponde à velocidade de deslocamento em uma região alagada. É difícil estimar a velocidade de deslocamento de uma pessoa nessa condição, uma vez que está relacionada ao nível e velocidade da água. Por isso, é adotado uma razão de 1:2 em relação à velocidade em solo seco sob condições normais.

A variável #3 corresponde à velocidade de deslocamento do socorrista em busca de vítimas. Considera-se seu deslocamento como um caminhar acelerado, adotando-se um valor entre 1,3 m/s e 2 m/s (CDC, 1999).

A variável #4 corresponde à velocidade de deslocamento do socorrista ao partir para o atendimento de uma vítima identificada. Considera-se seu deslocamento como uma corrida leve, ou “trote”, adotando-se um valor entre 2,2 m/s e 2,7 m/s (MCCOY, 2019).

5.1.3 Sinais Bluetooth e Wi-Fi Direct

A Figura 5.5 representa o conjunto de configurações de variáveis relacionadas à distância e ao tempo de transmissão dos sinais de Wi-Fi Direct e Bluetooth na rede *ad hoc*. Cada número em vermelho representa uma variável.

Bluetooth	
1 Tempo de conexão:	Min: 1.08 Med: 2.02 Max: 2.92 segundos
2 Velocidade de transmissão:	Min: 0.11 Med: 0.09 Max: 0.03 MB/s
3 Alcance máximo:	70 metros
Wi-Fi Direct	
4 Tempo de conexão:	Min: 4.78 Med: 5.92 Max: 17.42 segundos
5 Velocidade de transmissão:	Min: 3.98 Med: 0.56 Max: 0.11 MB/s
6 Alcance máximo:	110 metros

Figura 5.5: Grupo de variáveis – Bluetooth & Wi-Fi Direct.

A variável #1 corresponde ao tempo de estabelecimento da comunicação entre dois dispositivos por meio do Bluetooth. Os três valores correspondem às estimativas na distância mínima (1,08 segundos), distância média (2,02 segundos) e distância máxima (2,92 segundos) entre os dispositivos.

A variável #2 corresponde à velocidade de transmissão entre dois dispositivos por meio do Bluetooth. Os três valores correspondem às estimativas na distância mínima (0,11 MB/s), distância média (0,09 MB/s) e distância máxima (0,03 MB/s) entre os dispositivos.

A variável #3 corresponde à distância máxima entre dois dispositivos para efetivação de uma comunicação por Bluetooth. Nesse trabalho é adotado a distância máxima obtida por medições práticas realizadas (70 m).

A variável #4 corresponde ao tempo de estabelecimento do enlace para comunicação (conexão) entre dois dispositivos por meio do Wi-Fi Direct. Os três valores correspondem às

estimativas na distância mínima (4,78 segundos), distância média (5,92 segundos) e distância máxima (17,42 segundos) entre os dispositivos.

A variável #5 corresponde à velocidade de transmissão entre dois dispositivos por meio do Wi-Fi Direct. Os três valores correspondem às estimativas de velocidades na distância mínima (3,98 MB/s), distância média (0,56 MB/s) e distância máxima (0,11 MB/s) entre os dispositivos.

A variável #6 corresponde à distância máxima entre dois dispositivos para efetivação de uma comunicação por *Wi-Fi Direct*. Neste trabalho adota-se a distância máxima obtida por medições práticas realizadas (110 m).

Mais informações sobre a obtenção dos valores de distância, tempo e taxa de transmissão utilizados nessa seção estão nos apêndices C, D, E e G.

Por essas medições, observa-se que não está facilmente relacionado o decréscimo da taxa de transferência com o aumento da distância de medição. Apesar da tendência geral de decréscimo, por vezes as medições um pouco mais distantes apresentaram uma taxa superior à medição mais próxima. Por causa dessa variabilidade na medição e da indefinição de uma boa linha de tendência para ajuste, definiu-se que, para representar a taxa de transferência em função da distância, adota-se a taxa na medição mais próxima, na medição mais distante e na medição intermediária. As posições entre essas medidas assumem um valor aleatório entre *min* e *med*, ou entre *med* e *max*.

5.1.4 Socorristas e Vítimas

A Figura 5.6 representa o conjunto de configurações de variáveis relacionadas aos socorristas e vítimas participantes da rede *ad hoc*. Cada número em vermelho representa uma variável.

Socorristas e Vítimas	
1	Número de Socorristas: <input type="text" value="4"/> socorristas
2	Modelo de Mobilidade: <input type="text" value="Busca por Rua"/> ▼
3	Posicionamento das Vítimas: <input type="text" value="8,15,2,1,0-2,9,2,2,0-8,9,2,2,0-14,9,2,2,0-8,3,2,4,0"/>
4	Tempo de Atendimento - Nível 1: Min: <input type="text" value="720"/> Max: <input type="text" value="780"/> segundos
5	Tempo de Atendimento - Nível 2: Min: <input type="text" value="480"/> Max: <input type="text" value="600"/> segundos
6	Tempo de Atendimento - Nível 3: Min: <input type="text" value="300"/> Max: <input type="text" value="360"/> segundos
7	Tempo de Atendimento - Nível 4: Min: <input type="text" value="240"/> Max: <input type="text" value="300"/> segundos
8	Tempo de Início: Min: <input type="text" value="1"/> Max: <input type="text" value="2"/> segundos

Figura 5.6: Grupo de variáveis – Socorristas e Vítimas.

A variável #1 corresponde ao número de socorristas que iniciarão a busca de vítimas pela região. Deve haver ao menos 2 socorristas, uma vez que o trabalho pressupõe uma solução de atendimento partilhada e não individual. Todos esses socorristas iniciam a busca a partir do meio da borda sul da região. A quantidade máxima de socorristas equivale ao $\text{numero_quadradas_lado_regiao} \times 2$. Isso representa o uso máximo do modelo de mobilidade de busca por rua, onde cada socorrista se direciona diretamente para uma rua distinta.

A variável #2 corresponde ao modelo de mobilidade adotado pelos socorristas. É similar ao plano de busca e atendimento estabelecido pela equipe de resgate. Há um desafio em estabelecer previamente um plano de mobilidade genérico dos socorristas, uma vez que depende da região atingida, do desastre ocorrido, dos pontos de acessos à área, de informações prévias de vítimas, dos locais mais afetados e recursos disponíveis para a equipe, entre outros detalhes. Dessa forma, foi adotada uma simplificação para o propósito e características dessa simulação. Sendo assim, é possível escolher entre três modelos:

- Busca por Rua: Esse modelo de mobilidade equivale àquele descrito no artigo de Stute et al. (2017), onde se menciona que o time de buscas verifica cada casa ao longo de uma rua, antes de passar para a rua seguinte. A diferença reside no fato dos socorristas não entrarem em cada casa. Esse modelo apresenta a diferença no uso do aplicativo proposto: prover comunicação e informação a distância. Ao invés dos socorristas necessitarem entrar em cada casa da região, ao passarem pela rua na frente de uma casa com uma vítima em seu interior, devem ser capazes de receber a informação de sua localização, por meio do sinal Wi-Fi. Dessa forma, por esse modelo, a busca pode ser agilizada.

O algoritmo representado no Apêndice I indica o trajeto de cada socorrista. A definição das ruas percorridas depende da quantidade total de socorristas que compõem a equipe de resgate e partilham do mesmo plano de busca e atendimento. As velocidades de deslocamento estão definidas na Seção 5.1.2.

No Apêndice I é possível verificar visualmente diversos exemplos do trajeto do deslocamento, com diferentes quantidades de socorristas e quadras. Esses exemplos ilustram o algoritmo representado no mesmo apêndice. Ainda há dados referentes à proporção do aumento da eficiência do modelo conforme o acréscimo de socorristas.

- RWP Adaptado: É o modelo de mobilidade *Random WayPoints* adaptado à finalidade da simulação. Esse modelo é equivalente ao modelo dos cidadãos, com a possibilidade de

locomoção por todas as vias da região. É utilizado a fim de comparação com os outros modelos apresentados, sendo considerado o pior caso de mobilidade.

- Busca Direta: Os socorristas possuem informação prévia de todas as vítimas e se dirigem diretamente a elas. Equivale ao cenário ideal de atendimento e é utilizado para fins de comparação com os outros modelos apresentados e é considerado o melhor caso de mobilidade. Deve-se utilizar um socorrista por vítima, para máxima eficiência.

A variável #3 corresponde à definição do posicionamento das vítimas. Deve ser inserido uma *string* no formato: “*quadra_eixo_x, quadra_eixo_y, lado_da_quadra, nivel_de_emergencia, i/o*”. A *substring quadra_eixo_x* corresponde à posição horizontal da quadra na região quadrada simulada; A *substring quadra_eixo_y* corresponde à posição vertical; e *lado_da_quadra* corresponde a um número inteiro (1: leste. 2: norte. 3: oeste. 4: sul). A *substring nivel_de_emergencia* corresponde ao nível de emergência apontado no aplicativo pela vítima, conforme Seção 4.2 (1: emergência. 2: urgência. 3: menor urgência. 4: não urgente). Por fim, a *substring i/o* indica se a vítima está dentro da residência (i) ou na rua (o). Todos os campos são separados por vírgula, sem espaços. Essa *string* ainda pode conter várias quadras, separadas por traço simples.

O lado da quadra indicada receberá o acréscimo de uma vítima (internamente ou externamente). O limite máximo de vítimas que um lado de quadro pode receber são 10 vítimas. Caso mais de uma vítima seja posicionada no mesmo lado da mesma quadra, a distância entre elas será distribuída de forma equidistante ao longo da quadra.

Caso seja posicionada externamente, na rua, a quantidade de vítimas nesse segmento de rua também é limitada em 10. Neste caso, somam-se as vítimas externas associadas a ambos os lados da rua. Por exemplo, uma vítima da quadra (2,3) posicionada externamente ao lado sul, estará no mesmo segmento de rua de uma vítima da quadra (2,2) posicionada externamente ao lado norte. A soma de vítimas externas nesse segmento de rua é 2.

Se forem especificadas mais vítimas do que esse limite de 10, elas apenas não serão adicionadas na simulação.

Na Figura 5.7 há uma representação de uma vítima alocada dentro de uma residência e outras duas na rua.

As variáveis #4 à #7 correspondem ao tempo de atendimento às vítimas. O tempo transcorre em segundos, entre os valores indicados em *min* e *max*, para os quatro níveis de emergência.



Figura 5.7: Quadra com vítimas.

A variável #8 corresponde ao início do deslocamento dos socorristas. Após o início da simulação, indicado na Seção 5.2.2, o deslocamento de cada socorrista terá início, em segundos, entre os valores indicados em *min* e *max*.

5.1.5 Bateria do Smartphone

A Figura 5.8 representa o conjunto de configurações de variáveis relacionadas à bateria dos *smartphones* participantes da rede *ad hoc*. Cada número em vermelho representa uma variável. A Tabela 5.1 elenca essas variáveis.

Bateria do Smartphone		
1	Capacidade de Carga da Bateria:	Min: <input type="text" value="2754"/> Max: <input type="text" value="3470"/> mAh
2	Carga Inicial:	Min: <input type="text" value="70"/> Max: <input type="text" value="80"/> % da capacidade
3	Consumo durante transmissão Bluetooth:	Min: <input type="text" value="1.39"/> Max: <input type="text" value="1.46"/> mAh/min
4	Consumo durante escaneamento Bluetooth:	Min: <input type="text" value="2.19"/> Max: <input type="text" value="2.5"/> mAh/min
5	Consumo durante descoberta Bluetooth:	Min: <input type="text" value="1.78"/> Max: <input type="text" value="2.07"/> mAh/min
6	Consumo durante transmissão Wi-Fi Direct:	Min: <input type="text" value="4.28"/> Max: <input type="text" value="6.05"/> mAh/min
7	Consumo durante escaneamento Wi-Fi Direct:	Min: <input type="text" value="3.18"/> Max: <input type="text" value="3.83"/> mAh/min
8	Consumo durante descoberta Wi-Fi Direct:	Min: <input type="text" value="2.85"/> Max: <input type="text" value="3.66"/> mAh/min
9	Consumo durante uso mediano do smartphone:	Min: <input type="text" value="0.98"/> Max: <input type="text" value="3.65"/> mAh/min

Figura 5.8: Grupo de variáveis – Bateria do *smartphone*.

Os valores adotados nessa seção foram obtidos por testes práticos registrados no Apêndice H.

Tabela 5.1: Exemplo de tabela com as variáveis.

Variável #	Descrição
1	Capacidade de carga das baterias [#]
2	Carga inicial (% da carga total) [†]
3	Consumo em uma transmissão por Bluetooth ^{§, †, ‡}
4	Consumo durante um escaneamento Bluetooth ^{§, †, ‡}
5	Consumo durante um estado de descoberta Bluetooth ^{§, †, ‡}
6	Consumo em uma transmissão por <i>Wi-Fi Direct</i> ^{§, †, ‡}
7	Consumo durante um escaneamento <i>Wi-Fi Direct</i> ^{§, †, ‡}
8	Consumo durante um estado de descoberta <i>Wi-Fi Direct</i> ^{§, †, ‡}
9	Consumo durante um uso mediano do <i>smartphone</i> ^{§, †, ‡}

[#] Medida em miliampère-hora (mAh).

[§] Consumo em mAh.

[†] Variando entre os valores indicados em *min* e *max*.

[‡] Correspondente a 1 minuto de tempo de atividade.

A variável #1 corresponde à capacidade de carga das baterias dos *smartphones*, medida em miliampère-hora (mAh). Cada *smartphone* pode possuir uma capacidade entre os valores indicados em *min* e *max*.

A variável #2 corresponde à carga inicial dos *smartphones* em uma porcentagem da capacidade máxima. Cada *smartphone* pode possuir uma carga entre os valores indicados em *min* e *max*.

No grupo das variáveis de #3 a #9, os respectivos consumos são estimados em mAh entre valores indicados em *min* e *max*, e esse valor corresponde ao consumo no período de 1 minuto.

A variável #3 corresponde ao consumo em mAh em uma transmissão por Bluetooth. Esse valor, juntamente com a variável #2 da Seção 5.1.3, permite estimar o consumo da carga da bateria durante uma transmissão Bluetooth. A variável #4 corresponde ao consumo em mAh durante um escaneamento (*inquiring*) Bluetooth em busca de outro dispositivo. A variável #5 corresponde ao consumo em mAh durante um estado de descoberta (*discoverable*) Bluetooth por outro dispositivo em busca.

A variável #6 corresponde ao consumo em mAh em uma transmissão por *Wi-Fi Direct*. Esse valor, juntamente com a variável #5 da Seção 5.1.3, permite estimar o consumo da carga da bateria durante uma transmissão Wi-Fi. A variável #7 corresponde ao consumo em mAh durante um escaneamento (*discovery*) *Wi-Fi Direct* em busca de outro dispositivo. A variável

#8 corresponde ao consumo em mAh durante um estado de descoberta – *hotspot (listen)* Wi-Fi Direct por outro dispositivo em busca.

A variável #9 corresponde ao consumo em mAh durante um uso mediano do *smartphone* em atividades diversas. Esse valor corresponde à tela acesa do *smartphone* durante 1 minuto. É considerado que esse uso é realizado em metade do tempo da simulação.

Para a configuração desses valores tomou-se como referência as medições de consumo de bateria apresentadas no Apêndice H.

5.1.6 SBDA

A Figura 5.9 representa o conjunto de configurações de variáveis relacionadas à aplicação SBDA descrita no Capítulo 4 e utilizada para a transmissão das mensagens na rede *ad hoc*. Essa é uma proposta de solução para o problema abordado neste trabalho de atendimento das vítimas de desastres naturais. Cada número em vermelho representa uma variável.

Variable	Configuration
1	Sinal de Escaneamento: Bluetooth & Wi-Fi
2	Bluetooth - Tempo de fase: Escaneamento: 40, Descoberta: 40 segundos
3	Wi-Fi - Tempo de fase: Escaneamento: 40, Descoberta: 40 segundos
4	Sinais Múltiplos: Simultâneo
5	Nós da Rede: Socorristas e Cidadãos
6	Alteração de Vítima: Sim
7	Prioridade da Mensagem de Emergência: Nivel: 10, Distância: 10

Figura 5.9: Grupo de Variáveis – SBDA.

A variável #1 corresponde aos sinais utilizados para compor a rede *ad hoc*. Pode ser somente por Bluetooth, somente por *Wi-Fi Direct*, ou por ambos.

As variáveis #2 e #3 correspondem aos tempos de escaneamento e descoberta por cada sinal. Define-se o tempo, em segundos, de escaneamento por Bluetooth, o tempo em descoberta por Bluetooth, o tempo de escaneamento por *Wi-Fi Direct* e o tempo em descoberta por *Wi-Fi Direct*.

A variável #4 corresponde ao modo de escaneamento quando selecionado para utilizar Bluetooth e Wi-Fi. Pode ser um escaneamento alternado, quando se busca por uma conexão Bluetooth alternando com a busca por uma conexão Wi-Fi, ou simultâneo, quando ambos sinais estão ativos ao mesmo tempo.

A variável #5 corresponde aos nós que compõem a rede. É possível compor a rede *ad hoc* pelos *smartphones* dos socorristas e dos cidadãos, ou somente dos socorristas.

A variável #6 corresponde à possibilidade de um socorrista alterar a vítima que irá socorrer, durante um deslocamento para atendimento. Isso pode acontecer quando, durante o deslocamento até uma vítima, o socorrista receber uma mensagem de outra vítima com maior prioridade. Nesse caso, ele gera uma mudança ativa de atendimento, abandonando a vítima anterior e registrando seu atendimento em andamento para a nova vítima.

A variável #7 corresponde à composição de pesos para determinar a prioridade de uma vítima. É possível informar um peso para o nível de emergência da mensagem e para a distância do socorrista até a vítima. Um valor zero retira o item equivalente da composição de pesos. Mais detalhes dessa prioridade estão na Seção 4.3.

5.2 Ambiente da Simulação

A segunda janela da ferramenta corresponde ao ambiente gráfico que permite o acompanhamento da simulação. Constitui-se da representação visual da área simulada e dos deslocamento dos nós, e de um painel para algumas últimas configurações finais antes do início da simulação. A imagem da janela contendo todos os elementos da simulação, conforme visualizado na ferramenta, é apresentada no Apêndice B.

5.2.1 Área de Simulação

A Figura 5.10 representa a área de simulação onde ocorrem as interações entre os nós da rede *ad hoc*, passíveis de visualização em tempo real.

Um aspecto importante de uma simulação que envolva dispositivos que possam se conectar dentro de um raio de alcance é a abordagem utilizada para realizar a verificação dessa distância entre os agentes autônomos da simulação.

Um problema inerente às simulações é o grande aumento do tempo de execução conforme o acréscimo de elementos que as compõem. Em simulações por agentes que possuem liberdade de locomoção, como no caso de uma rede *ad hoc* onde cada nó se comporta como um agente independente, surge a necessidade de se fazer uma verificação *todos-para-todos* elementos, a fim de definir quais nós estão ao alcance de cada um, a cada passo da simulação. A Figura 5.11 representa a quantidade de verificações necessárias para a quantidade de nós correspondentes



Figura 5.10: Área da simulação.

na simulação. Percebe-se um aumento exponencial da quantidade de verificações, refletindo em um aumento proporcional do tempo de execução, conforme o incremento linear de nós na rede.

Por exemplo, em uma simulação de uma rede *ad hoc* com 100 nós, com um modelo de mobilidade *Random Waypoints*, a cada passo são feitas 4950 verificações entre todos os nós para identificar quais estão ao alcance de cada um. Ou seja, o primeiro nó realiza 99 verificações, o segundo realiza 98 verificações, e assim por diante, conforme ilustrado na Equação 5.1.

$$A = \sum_{i=1}^{n-1} a_i = a_1 + a_2 + \dots + a_{n-1} = \frac{(a_1 + a_{n-1}) \times (n - 1)}{2} \quad (5.1)$$

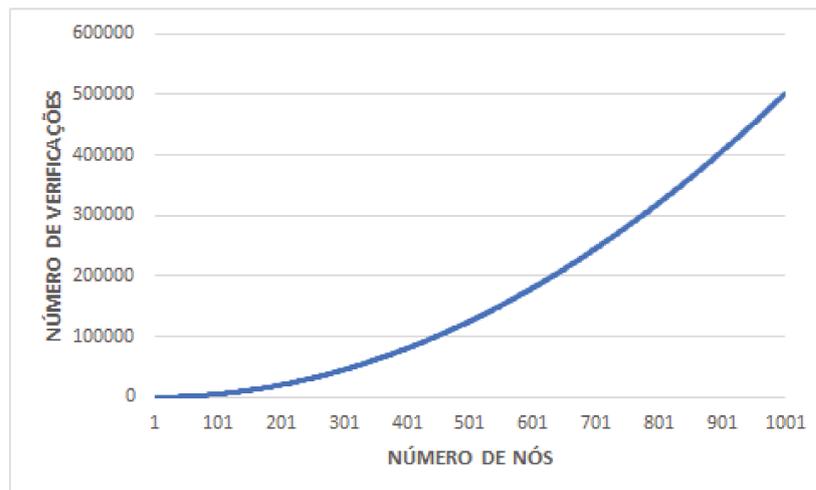


Figura 5.11: Quantidade de verificações por quantidade de nós na rede.

Isso representa uma queda de desempenho ao escalar a simulação para mais nós. Porém, o cenário da simulação deste trabalho possui algumas características:

- Os nós não se movem com liberdade de deslocamento para qualquer direção. Os nós percorrem vias bem definidas, norte-sul (ruas verticais) ou leste-oeste (ruas horizontais), que descrevem a direção das ruas na região representada na simulação.
- A distância máxima teórica que o sinal Wi-Fi de um nó pode alcançar é 100 m, o que corresponde à largura de uma quadra. Uma vez que os nós caminham à margem dessa distância, por ruas paralelas, o sinal de um nó não consegue alcançar o de outro nó, mesmo no caso ideal de visada direta.
- Conforme os experimentos detalhados no Apêndice F, o sinal de *Wi-Fi Direct* de um nó atravessa no máximo uma residência (com uma potência baixa ao final). Portanto, nesta simulação não se emprega a propagação do sinal cruzando diferentes residências. O alcance transpondo barreiras se restringe entre um nó dentro de uma residência e um nó na rua em frente à residência. Considerando uma transmissão na rua, a propagação do sinal apenas transpõe barreiras com ambos nós próximos de uma esquina. Essa comunicação por barreiras é simulada somente por *Wi-Fi Direct*.

Com base nessas observações, esse trabalho busca uma alternativa ao implementar um mecanismo personalizado de verificação do alcance do sinal dos nós em linha reta, ao invés de uma área radial, conforme demonstrado na Figura 5.12.

Na Figura 5.12 há uma indicação do raio de alcance do sinal de Wi-Fi do nó F sob condições ideais de visada direta. Contudo, como observado anteriormente, esse alcance é diminuído



Figura 5.12: Verificação do alcance de sinal.

substancialmente conforme o sinal atravessa barreiras (paredes de residências). Sendo assim, a verificação do alcance de um nó é feita de forma mais simplificada e adequada com o cenário dessa simulação.

Um nó verifica o alcance para demais nós na rua atual (x_2), e nos segmentos de rua adjacentes, de ambos os lados (x_1 e x_3), realizando uma medição de distância considerando visada direta, baseando-se nos dados obtidos pelas medições práticas e registrados nos apêndices D e E.

Para realizar essa verificação, são utilizadas duas matrizes indicadas na Figura 5.13. A Figura 5.13-(a) é uma matriz com todos os segmentos de ruas horizontais da simulação. A Figura 5.13-(b) representa todos os segmentos de ruas verticais. As duas matrizes são empregadas porque a dimensão das ruas verticais é diferentes da dimensão das ruas horizontais. Desse modo, um nó é inserido em apenas uma célula de uma dessas matrizes e, conforme se locomove e muda de segmento, será retirado de uma célula e inserido em outra.

Assim, quando um nó termina a atualização de posição após um deslocamento, verifica-se na sua célula e nas duas adjacentes (horizontais, caso (a), ou verticais, caso (b)), se há mais nós e a respectiva posição destes, para então calcular se estão na distância máxima de alcance.

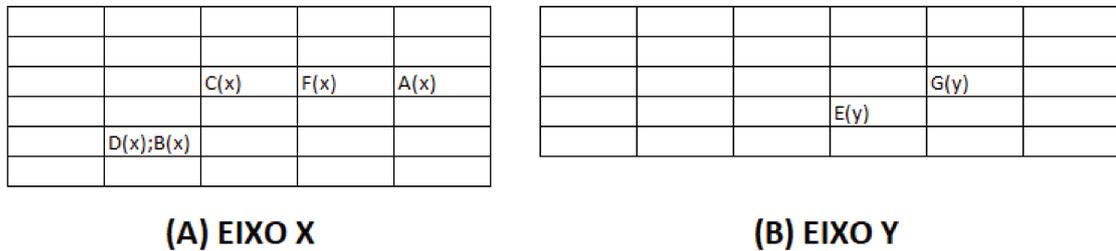


Figura 5.13: Matrizes de posicionamento dos nós.

Dessa forma, a verificação de alcance dos sinais e identificação de possíveis conexões ocorre conforme demonstrado a seguir. Pela abordagem mais comum em simulações de nós *ad hoc*, em que se considera a possibilidade de locomoção do nó para qualquer direção e todos os nós precisam ser comparados entre si, cada verificação é representada pela Equação 5.2. Em um caso de 100 nós na simulação, resultaria em um total de 4950 verificações.

$$\text{Distancia Maxima} > \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5.2)$$

Contudo, realizando-se a adaptação para as características dessa simulação, 100 nós distribuídos em uma área de 5×5 quadras, corresponderia a 100 nós para 60 segmentos de ruas, ou uma média de 1,66 nós por segmento. Aplicando a verificação baseada em visada direta, conforme ilustra a Figura 5.12, e no uso das matrizes na Figura 5.13, considerando o segmento de rua do nó e os dois segmentos adjacentes, cada nó efetuará uma média de quatro verificações ($3 \times 1,66 - 1$). Desconsidera-se a verificação do nó com ele mesmo e observa-se que estas verificações são mais simples, conforme Equação 5.3. Somente uma das verificações abaixo é feita, de acordo com a orientação do deslocamento do nó.

$$\text{Distancia Maxima} > |x_2 - x_1| \text{ ou } |y_2 - y_1| \quad (5.3)$$

A Tabela 5.2 apresenta algumas comparações entre as duas abordagens, contabilizando a quantidade de verificações necessárias pelo Método 1 (busca pelo raio) e pelo Método 2 (busca pelo segmento de rua). Observa-se que o Método 2 apresenta em média 10 vezes menos verificações do que o Método 1. Contudo, outras observações mais práticas são necessárias. O

Método 1 não necessita da criação e uso das matrizes descritas. Trata-se de uma verificação feita sobre um único vetor de nós.

Tabela 5.2: Métodos de simulação: Comparação.

Quadras	Nós	Método 1 Verificações	Método 2 Verificações
5x5	100	4950	400
	200	19900	1800
	300	44850	4050
	400	79800	7200
	500	124750	11250

O Método 2 utiliza as matrizes, e isso acarreta em outras particularidades de implementação: a cada passo da simulação, cada nó confere a sua posição para, se necessário, atualizá-la na respectiva célula das matrizes. Essa operação reflete na exclusão e acréscimo das estruturas que representam cada nó, em estruturas de listas das respectivas células das matrizes. Além disso, nesse método são necessárias outras ações, como verificar se o nó está próximo da borda da região, para não verificar um segmento de rua adjacente que não exista, ou ainda buscar por cada nó interno no mesmo segmento de rua, em ambos os lados (realizando uma verificação semelhante à do Método 1).

Portanto, na prática, o desempenho não se demonstrou muito vantajoso como os dados calculados da Tabela 5.2 apontaram. Porém, essa reflexão expõe a possibilidade de otimização desse método, e abre um caminho para futuras investigações de melhorias para um método mais eficaz para agilizar as simulações.

Por fim, a área de visualização da simulação foi fundamental para testes de validação da implementação do simulador e do SBDA. A cada desenvolvimento de novo recurso da simulação, foi necessário a verificação de seu correto funcionamento, e isso é uma tarefa desafiadora considerando que diversas ações ocorrem após as transmissões de sinal, que não são visíveis na simulação. Para isso, foi implementando um modo *debug* para verificar os principais detalhes de cada nó, em tempo real. A Figura 5.14 ilustra uma tela desse modo.

Por esse modo, na área da simulação são acrescentados números a cada nó, e ao lado da região simulada são apresentadas informações referentes a cada nó. Essas informações incluem: número do nó; carga da bateria; se o nó está em clico do Bluetooth ou Wi-Fi Direct, bem como em escaneamento, descoberta ou transmissão, e o *timestamp* em que iniciou esse ciclo; se estiver em transmissão, indica o nó para o qual está transmitindo; se estiver em

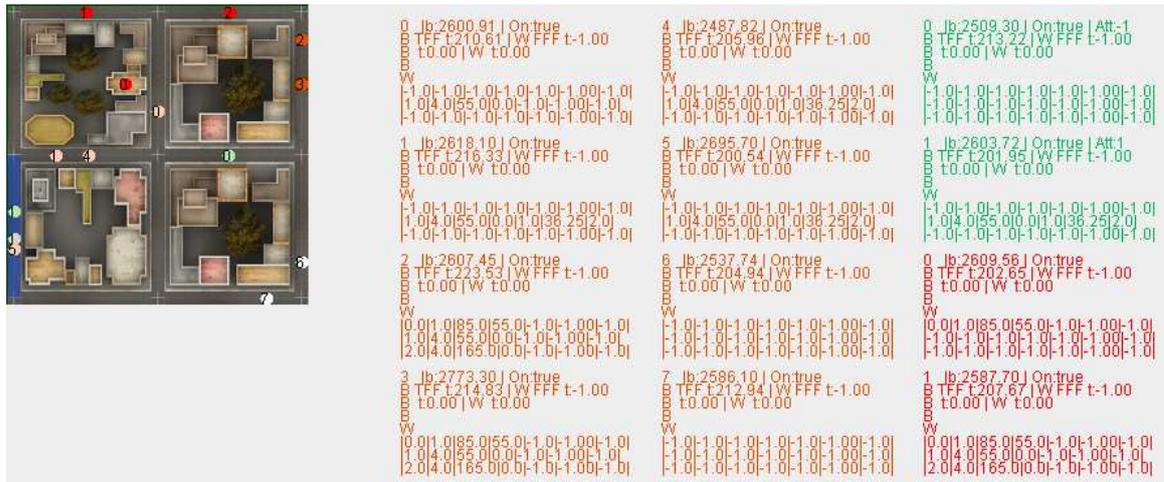


Figura 5.14: Área da simulação: Modo *debug*.

escaneamento, indica a fila de nós que identificou; se socorrista, indica a vítima para a qual está se deslocando; e para todos os nós são indicadas a tabela de vítimas completa.

Dessa forma, diversas simulações de teste foram conduzidas, verificando diferentes condições e analisando os dados de cada nó, para atestar que estivessem sendo alterados conforme o esperado, validando assim a funcionalidade da simulação.

5.2.2 Painel de Controle

A Figura 5.15 representa o painel de controle para ajustes gerais da simulação. Nessa figura, os números em vermelho representam variáveis que são detalhadas a seguir.

A variável #1 corresponde ao tempo real transcorrido. A variável #2 corresponde ao tempo em simulação transcorrido.

A variável #3 corresponde à distribuição de probabilidade das variáveis de entrada da simulação. Há diversas variáveis que recebem valores aleatórios dentro de um limite inferior e superior. A distribuição da probabilidade dessas variáveis em assumir um valor nessa faixa pode seguir dois modelos:

- Uniforme: Distribuição aleatória entre os valores limites informados de cada variável.
- Normal: Distribuição gaussiana entre os valores limites informados de cada variável.

A variável #4 corresponde à configuração da velocidade da simulação. É possível configurar um valor entre 1 (velocidade real) e 100 (cem vezes mais rápido). É importante ressaltar que essa aceleração corresponde a alocar mais operações dentro de um mesmo passo da simulação



Figura 5.15: Painel de controle.

(100 ms), e, dependendo da quantidade de nós e do fator de aceleração, frequentemente essa janela de tempo não é o suficiente para realizar todas as operações. Por isso a simulação pode não acelerar conforme o esperado.

O item #5 corresponde ao controle da simulação: botões de iniciar, pausar e encerrar a simulação.

O item #6 corresponde à legenda dos elementos na área de simulação. Um círculo branco corresponde a um nó cidadão que não recebeu nenhuma mensagem de uma vítima. As graduações progressivas para laranja escuro representam uma porcentagem das mensagens de

todas as vítimas que um nó cidadão recebeu, e isso auxilia a identificar visualmente a propagação das mensagens pela rede.

Os nós verdes são os socorristas, e também representam gradações na cor conforme mais vítimas identificaram. Os nós vermelhos são as vítimas, e após o atendimento ficam com uma gradação de cor mais clara.

Círculos cinza são utilizados para representar o ponto em que um nó saiu de sua rota de busca para atender uma vítima e que, portanto, após o atendimento, necessita retornar para esse ponto para retomar sua rota inicial.

Em azul são representadas as ruas inundadas, e em marrom os escombros.

5.3 Resultados da Simulação

A terceira e última janela da ferramenta corresponde aos resultados da simulação executada. Há variáveis em comum que são agrupadas em 5 conjuntos de resultados para melhor visualização, além de alguns gráficos em tempo real. Esses resultados podem ser gravados no formato de uma *string* para facilitar uma análise externa em uma ferramenta estatística.

A *string* de saída, gravada em arquivo texto, é composta por 85 valores numéricos, sendo um desses composto por outro conjunto de valores (variável #2 da Seção 5.3.4), separados por ponto e vírgula, conforme a sequência dessas variáveis na janela de resultados, e apresentadas nesta seção. A imagem da janela contendo todas as variáveis de saída, conforme visualizado na ferramenta, é apresentada no Apêndice B.

A opção de salvar os resultados ao final da simulação registrará tanto a *string* de resultados quando a *string* de configuração em um arquivo texto. Esse arquivo possui quatro linhas. A primeira linha é um *label* para identificar a *string* com as variáveis de configuração. A segunda linha contém as variáveis de configuração. A terceira linha é um *label* para identificar a *string* com as variáveis dos resultados. A quarta e última linha contém as variáveis dos resultados. O carregamento da *string* de configuração utiliza esse arquivo previamente salvo, sempre buscando pela segunda linha.

5.3.1 Comunicações

A Figura 5.16 representa o conjunto de resultados associados às mensagens trocadas por meio do Bluetooth ou Wi-Fi Direct. Cada número em vermelho representa um resultado observável.

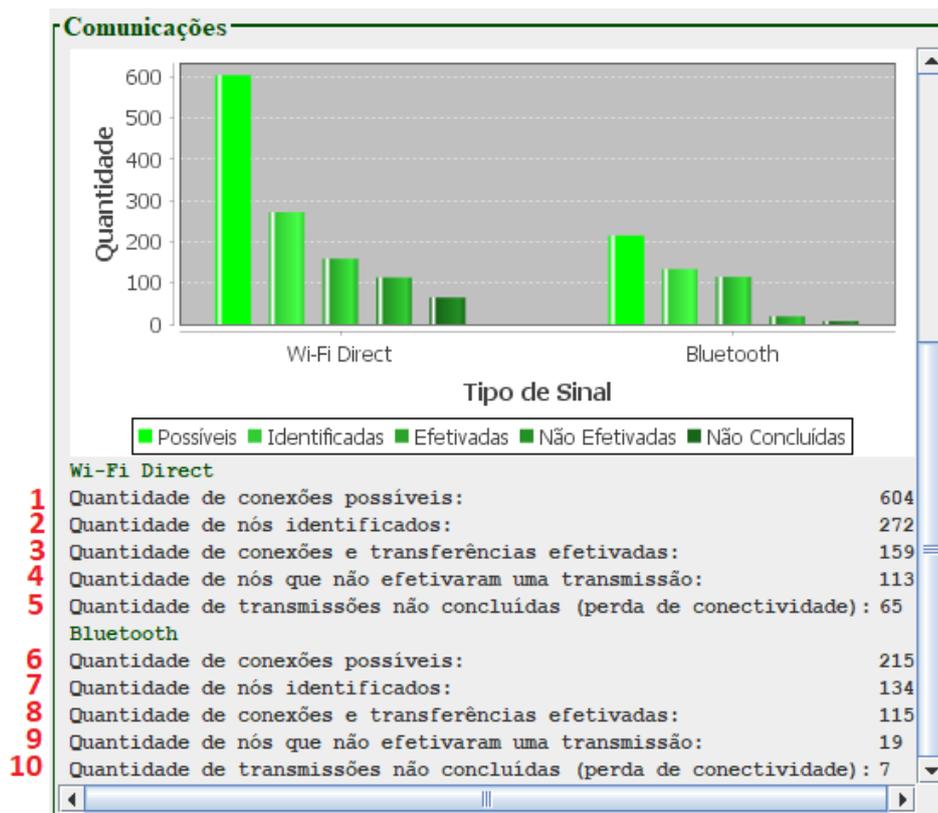


Figura 5.16: Resultados – Comunicações.

A variável #1 corresponde à quantidade de conexões possíveis por Wi-Fi Direct. Isso significa a contagem de quantos nós entraram no raio de alcance do Wi-Fi de outro nó. Portanto, não corresponde a uma conexão efetivada, mas à possibilidade de haver a conexão.

A variável #2 corresponde à quantidade de nós identificados por Wi-Fi Direct. Pode haver uma nova contagem de um nó que tenha saído do raio de alcance e retornado. Não há nova contagem caso um nó tenha sido identificado em diferentes escaneamentos dentro de um mesmo período que tenha ficado ao alcance deste nó por Wi-Fi.

A variável #3 corresponde à quantidade de conexões e transferências efetivadas (troca das tabelas de vítimas) por Wi-Fi Direct.

A variável #4 corresponde à quantidade de nós que não efetivaram uma transmissão por Wi-Fi com o nó identificado, apesar de terem entrado em seu raio de alcance.

A variável #5 corresponde à quantidade de conexões ou transmissões por Wi-Fi Direct que não foram concluídas por perda de conectividade (nós se afastaram do raio de alcance).

A variável #6 corresponde à quantidade de conexões possíveis por Bluetooth. Isso significa a contagem de quantos nós entraram no raio de alcance do Bluetooth de outro nó. Portanto, não corresponde a uma conexão efetivada, mas apenas à possibilidade de haver a conexão.

A variável #7 corresponde à quantidade de nós identificados por Bluetooth. Pode haver uma nova contagem de um nó que tenha saído do raio de alcance e retornado. Não há nova contagem caso um nó tenha sido identificado em diferentes escaneamentos dentro de um mesmo período que tenha ficado ao alcance deste nó por Bluetooth.

A variável #8 corresponde à quantidade de conexões e transferências efetivadas (troca das tabelas de vítimas) por Bluetooth.

A variável #9 corresponde à quantidade de nós que não efetivaram uma transmissão por Bluetooth com o nó identificado, apesar de terem entrado em seu raio de alcance.

A variável #10 corresponde à quantidade de conexões ou transmissões por Bluetooth que não foram concluídas por perda de conectividade (nós se afastaram do raio de alcance).

Acima desse conjunto de variáveis, há um gráfico que ilustra esses valores.

5.3.2 Bateria

A Figura 5.17 representa o conjunto de resultados associados ao consumo da bateria dos *smartphones* participantes da rede *ad hoc*. Cada número em vermelho representa um resultado observável.

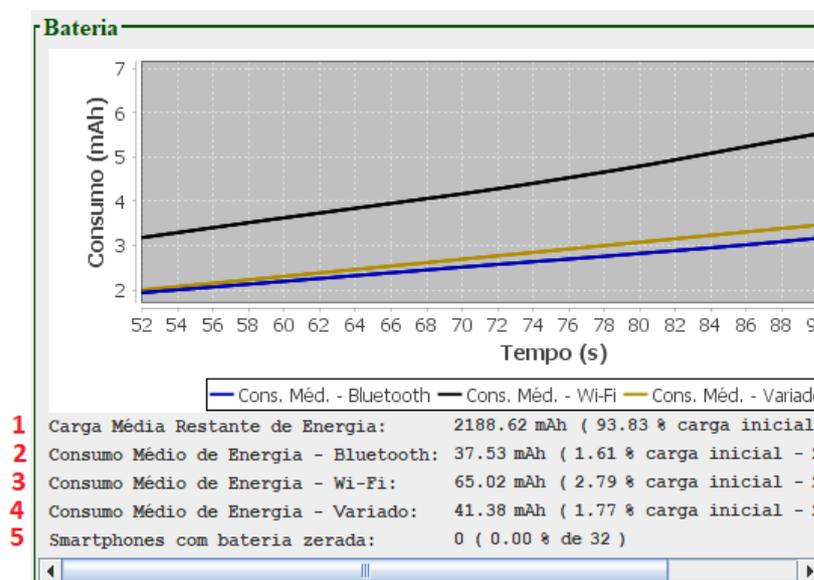


Figura 5.17: Resultados - Bateria.

A variável #1 corresponde ao consumo médio de energia (em mAh) da bateria dos *smartphones*. Também é representada a porcentagem de consumo em relação à média de carga de bateria inicial.

A variável #2 corresponde ao consumo médio de energia (em mAh) da bateria dos *smartphones* somente pelo uso do Bluetooth.

A variável #3 corresponde ao consumo médio de energia (em mAh) da bateria dos *smartphones* somente pelo uso do *Wi-Fi Direct*.

A variável #4 corresponde ao consumo médio de energia (mAh) da bateria dos *smartphones* por usos variados. Para isso é basicamente considerado o brilho da tela, que se torna o elemento de maior consumo do *smartphone*.

Nas variáveis anteriores, também são representadas as porcentagens de consumo em relação à média de carga de bateria inicial.

A variável #5 corresponde ao número de *smartphones* que tiveram toda a carga da bateria drenada. Também é representada a porcentagem em relação a todos os *smartphones* da rede.

Acima desse conjunto de variáveis, há um gráfico que ilustra esses valores.

5.3.3 Tempos

A Figura 5.18 representa o conjunto de resultados associados ao tempo de atendimento das vítimas. Cada número em vermelho representa um resultado observável.

Tempos	
1	Porcentagem das mensagens entre vítimas e socorristas entregues 100.00 %
2	Tempo da mensagem de uma vítima alcançar o primeiro socorrista: Min: 683.
3	Tempo da mensagem de uma vítima alcançar todos os socorristas: Min: 793.
4	Tempo de um socorrista receber a primeira mensagem: Min: 683.
5	Tempo de um socorrista receber todas as mensagens: Min: 771.
6	Tempo de propagação das mensagens para o primeiro socorrista: 771.20 se
7	Tempo de propagação das mensagens para todos os socorristas: 907.40 se
8	Tempo de resposta para vítima de nível 1: Min: 818.
9	Tempo de resposta para vítima de nível 2: Min: 837.
10	Tempo de resposta para vítima de nível 3: Min: 1023
11	Tempo de resposta para vítima de nível 4: Min: N/A !
12	Tempo de resposta dos socorristas: N/A segun
13	Tempo real de duração da simulação: 109.20 se
14	Tempo simulado de duração da simulação: 1092.00 s

Figura 5.18: Resultados - Vítimas.

A variável #1 corresponde à porcentagem de todas as mensagens entregues a todos os socorristas.

A variável #2 corresponde ao tempo da mensagem de uma vítima alcançar o primeiro socorrista. São indicados o tempo mínimo que uma mensagem necessitou para alcançar um socorrista, o tempo máximo, e a média entre todas as vítimas.

A variável #3 corresponde ao tempo da mensagem de uma vítima alcançar todos os socorristas. São indicados o tempo mínimo que uma mensagem necessitou para alcançar todos os socorristas, o tempo máximo, e a média entre todas as vítimas.

A variável #4 corresponde ao tempo de um socorrista receber a primeira mensagem. São indicados o tempo mínimo que um socorrista necessitou para receber a primeira mensagem, o tempo máximo, e a média entre todos os socorristas.

A variável #5 corresponde ao tempo de um socorrista receber as mensagens de todas as vítimas. São indicados o tempo mínimo que um socorrista necessitou para receber todas as mensagens, o tempo máximo, e a média entre todos os socorristas. Observa-se que o valor máximo da variável em #4 é igual o valor máximo da variável em #2.

A variável #6 corresponde ao tempo de propagação das mensagens para o primeiro socorrista. Essa variável equivale ao valor máximo da variável em #2. Indica o tempo necessário para todas as vítimas da região serem anunciadas para ao menos um socorrista da equipe de emergência, ou seja, para todas as vítimas se tornarem conhecidas. Essa é uma das duas variáveis tomadas como principais resultados das simulações, nos casos de testes do Capítulo 6.

A variável #7 corresponde ao tempo de propagação das mensagens para todos os socorristas. Equivale ao valor máximo da variável em #3 (ou #5). Essa variável indica o tempo necessário para todos os socorristas da equipe de emergência tomarem ciência de todas as vítimas na região.

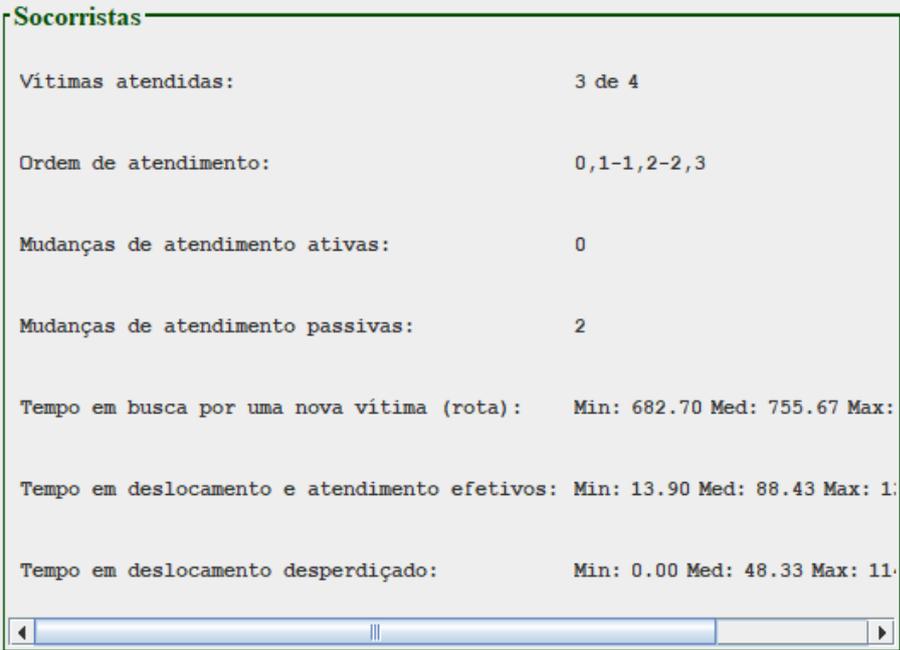
As variáveis de #8 a #11 correspondem ao tempo de resposta para uma vítima de nível de emergência 1, 2, 3 ou 4. As variáveis indicam o tempo para uma vítima receber atendimento após ter enviado a mensagem. São indicados o tempo mínimo que uma vítima necessitou para receber atendimento, o tempo máximo, e a média entre todas as vítimas de nível 1, 2, 3 ou 4.

A variável #12 corresponde ao tempo de resposta (atendimento) dos socorristas. Essa variável equivale ao maior valor máximo entre as variáveis de #8 a #11. Indica o maior tempo necessário para uma vítima ser atendida após o envio da mensagem (início da simulação), ou seja, para a última vítima ser atendida. Essa é uma das duas variáveis tomadas como principais resultados das simulações, nos casos de testes do Capítulo 6.

A variável #13 corresponde ao tempo real de duração da simulação. A variável #14 corresponde ao tempo simulado de duração da simulação.

5.3.4 Socorristas

A Figura 5.19 representa o conjunto de resultados associados ao atendimento realizado pelos socorristas. Cada número em vermelho representa um resultado observável.



Socorristas		
1	Vítimas atendidas:	3 de 4
2	Ordem de atendimento:	0,1-1,2-2,3
3	Mudanças de atendimento ativas:	0
4	Mudanças de atendimento passivas:	2
5	Tempo em busca por uma nova vítima (rota):	Min: 682.70 Med: 755.67 Max:
6	Tempo em deslocamento e atendimento efetivos:	Min: 13.90 Med: 88.43 Max: 1.
7	Tempo em deslocamento desperdiçado:	Min: 0.00 Med: 48.33 Max: 11.

Figura 5.19: Resultados – Socorristas.

A variável #1 corresponde à quantidade de vítimas atendidas.

A variável #2 corresponde a uma *string* que representa a ordem de atendimento das vítimas. Relaciona-se a sequência de atendimento das vítimas, identificando o número da vítima e seu nível de emergência, indicando a ordem de atendimento efetivado pelos socorristas. Essa ordem é definida pelo instante em que um socorrista chega até a vítima. Essa relação serve para identificar se o nível de emergência está tendo representatividade na ordem de atendimento das vítimas.

A variável #3 corresponde à mudança de atendimento ativa de um socorrista, ou seja, quando recebe informação de uma nova vítima e o próprio nó socorrista decide por alterar seu atendimento em curso para priorizar essa nova vítima.

A variável #4 corresponde à mudança de atendimento passiva de um socorrista, ou seja, quando recebe informação de um novo socorrista em atendimento à mesma vítima, possuindo

maior prioridade, dessa forma cancelando o seu atendimento em curso. Uma alteração passiva pode gerar uma nova alteração ativa, uma vez que este socorrista pode mudar seu atendimento para uma vítima que esteja em atendimento por outro socorrista. Espera-se que haja um pouco mais de mudanças passivas do que ativas. Isso é o observado nos resultados abordados no Capítulo 6.

A variável #5 corresponde ao tempo do socorrista gasto em busca por uma nova vítima, ou seja, percorrendo a sua rota de busca. Isso ocorre em um primeiro momento da simulação e quando o socorrista não tiver vítimas disponíveis para atendimento em sua tabela de vítimas. São indicados o tempo mínimo que um socorrista gastou nessa atividade, o tempo máximo, e a média entre todos os socorristas.

A variável #6 corresponde ao tempo do socorrista gasto em deslocamento e atendimento efetivo de uma vítima, ou seja, em relação ao atendimento que ele concluiu. São indicados o tempo mínimo que um socorrista gastou nessa atividade, o tempo máximo, e a média entre todos os socorristas.

A variável #7 corresponde ao tempo do socorrista gasto em deslocamento desperdiçado, ou seja, em relação a um deslocamento que teve que abandonar por mudança de prioridade de vítima. Também corresponde ao tempo gasto para retornar à sua rota em busca de novas vítimas. São indicados o tempo mínimo que um socorrista gastou nessa atividade, o tempo máximo, e a média entre todos os socorristas.

5.3.5 Agrupamento dos Nós

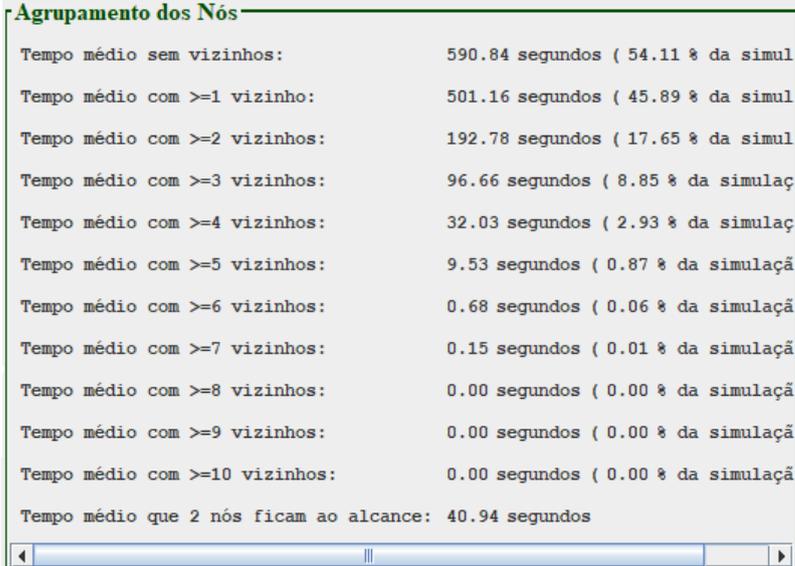
A Figura 5.20 representa o conjunto de resultados associados à proximidade entre os nós da rede *ad hoc* ao longo da simulação. Cada número em vermelho representa um resultado observável.

A variável #1 corresponde ao tempo médio que um nó fica fora do alcance de qualquer outro (não possui um vizinho).

A variável #2 corresponde ao tempo médio que um nó fica ao alcance de um ou mais vizinhos. A variável #3 corresponde ao tempo médio que um nó fica ao alcance de dois ou mais vizinhos. As variáveis #4 à #11 correspondem de forma similar às variáveis anteriores.

No grupo das variáveis de #1 a #11, também são representadas as porcentagens do tempo em relação ao tempo total da simulação.

A variável #12 corresponde ao tempo médio que um nó fica ao alcance de outro. Esse tempo representa a janela de tempo média que os nós possuem para poder estabelecer uma conexão com outro nó ao alcance.



Índice	Descrição	Tempo médio	Porcentagem da simulação
1	Tempo médio sem vizinhos:	590.84 segundos	54.11 % da simul
2	Tempo médio com >=1 vizinho:	501.16 segundos	45.89 % da simul
3	Tempo médio com >=2 vizinhos:	192.78 segundos	17.65 % da simul
4	Tempo médio com >=3 vizinhos:	96.66 segundos	8.85 % da simulaç
5	Tempo médio com >=4 vizinhos:	32.03 segundos	2.93 % da simulaç
6	Tempo médio com >=5 vizinhos:	9.53 segundos	0.87 % da simulaçã
7	Tempo médio com >=6 vizinhos:	0.68 segundos	0.06 % da simulaçã
8	Tempo médio com >=7 vizinhos:	0.15 segundos	0.01 % da simulaçã
9	Tempo médio com >=8 vizinhos:	0.00 segundos	0.00 % da simulaçã
10	Tempo médio com >=9 vizinhos:	0.00 segundos	0.00 % da simulaçã
11	Tempo médio com >=10 vizinhos:	0.00 segundos	0.00 % da simulaçã
12	Tempo médio que 2 nós ficam ao alcance:	40.94 segundos	

Figura 5.20: Resultados – Agrupamento dos nós.

5.4 Considerações do Capítulo

Ante o desenvolvimento de uma simulação que não possa ser compartilhada ou facilmente reproduzida devido à elevada quantidade de variáveis e por necessitar alterações diretamente em código, optou-se pela criação de uma interface amigável que pudesse auxiliar o usuário a ajustar facilmente a simulação, acompanhando visualmente sua execução e resultados, recriando-a com simplicidade e analisando os dados obtidos.

Com esse cuidado, promove-se a reprodutibilidade dos experimentos e, pela divulgação do código fonte desse simulador, oferece-se um resultado prático para a comunidade de pesquisa dessa área de estudo, permitindo contribuições e incrementos da ferramenta. Para isso, as diversas variáveis são expostas e explicadas e, quando pertinente, detalhada a forma de obtenção de seus valores e das implementações adotadas para utilizá-las na simulação.

Essa ferramenta permite simulações focadas no cenário de interesse: formação de redes *ad hoc* baseadas em *smartphones* em situações de desastre natural. Portanto, é uma ferramenta mais específica do que outras já disponíveis há muitos anos e com uma grande comunidade de usuários (NS-3, 2020; OMNET++, 2020). Essas ferramentas possuem um foco mais amplo,

implementando diversos recursos de redes mais profundamente, mas que não são de interesse primário dessa simulação e nem precisariam ser representados nela.

Além disso, outras ferramentas não possuem a facilidade de configuração das mesmas variáveis que são explicitadas na entrada de dados do simulador proposto neste trabalho. Os resultados de interesse também são entregues pelo simulador, o que demanda esforço de implementação em outras ferramentas. Dessa forma, esse simulador foca nas variáveis de interesse primário do cenário em estudo e, apesar de suas limitações, apresenta um primeiro passo em direção a uma ferramenta específica, focada ao que se propõe estudar, e que traz vantagens ao seu uso para estudo do cenário que modela.

Ademais, por permitir a fácil reprodutibilidade dos experimentos, esse simulador agiliza os testes de diferentes soluções de redes *ad hoc*, simplificando os ajustes de parâmetros de configuração. Sua adoção permite criar uma base de comparação entre diferentes soluções, que têm sido implementadas em diferentes simuladores e testadas em diferentes condições. Isso pode dificultar a comparação de resultados alcançados entre os trabalhos. Sendo assim, esse simulador apresenta uma possibilidade de promover uma sistematização nos testes de soluções de redes *ad hoc* baseadas em *smartphones* aplicadas aos desastres naturais, pelos mesmos tipos de resultados que pode entregar para comparação de diferentes soluções.

Desenvolvida a plataforma e apresentadas as variáveis relacionadas, o próximo passo é a definição dos cenários de testes. No próximo capítulo são apresentados diversos casos de estudo que exploram diferentes configurações de entrada da simulação, para analisar o impacto na eficiência da rede, no tempo de entrega das mensagens e atendimento das vítimas. Com os resultados do próximo capítulo é possível obter orientações quanto às configurações do SBDA para melhor ajuste e funcionamento da rede *ad hoc*.

Capítulo 6

Casos de Teste e Resultados

O objetivo da execução dos casos de testes, i.e. das simulações, é identificar a melhor configuração das variáveis do SBDA. Variáveis como aquelas relacionadas aos sinais de Bluetooth e Wi-Fi, de velocidade de deslocamento e de consumo de bateria, foram obtidas por medições práticas ou da literatura científica. Logo, esses valores iniciais são adotados para todas as simulações. Variáveis relacionadas à composição do cenário, cidadãos, socorristas e vítimas são candidatas a serem analisadas nesse capítulo.

Dos casos de teste a seguir, os seis primeiros estão relacionados à análise das variáveis gerais da simulação, para a definição de um cenário adequado para as demais simulações, e os últimos cinco são para a análise das variáveis do SBDA. Todos esses testes são direcionados aos objetivos principais da simulação: detectar a melhor configuração para permitir a entrega mais rápida de mensagens aos socorristas e permitir que todas as vítimas sejam atendidas o mais rápido possível. A entrega das mensagens de todas as vítimas para ao menos um socorrista corresponde ao tempo de propagação (variável #6 na Seção 5.3.3) e o atendimento de todas as vítimas se refere ao tempo de resposta – ou de atendimento (variável #12 na Seção 5.3.3). Esses são valores obtidos individualmente para cada simulação executada.

Para cada configuração em cada caso de teste a seguir, indica-se a *string* de configuração utilizada para as simulações. As *strings* de configuração são arquivos com os dados de entrada de cada simulação, e estão presentes junto ao código-fonte do simulador, seguindo a mesma numeração apresentada neste capítulo. Cada uma das 140 configurações analisadas neste capítulo foram executadas 10 vezes para se obter a média e desvio-padrão (σ) dos tempos de propagação e atendimento de cada configuração. Esses valores médios são apresentados nas tabelas das seções a seguir.

Essas simulações foram executadas em 10 instâncias de máquinas virtuais (1 CPU e 1GB de RAM) no ambiente de computação em nuvem da Amazon Web Services (AWS) e 10 instâncias de máquinas virtuais (2 CPUs e 2GB – 4GB de RAM) na Microsoft Azure, totalizando mais de 500 horas de execução.

6.1 Densidade da Área

Nesta seção analisa-se a relação entre tamanho de área e quantidade de nós cidadãos. São testadas nove configurações, variando de tamanho de área e densidade populacional.

Uma densidade baixa equivale a 1 nó por quadra. Uma densidade média equivale a 4 nós por quadra (1 por lado de quadra). Uma densidade alta equivale a 8 nós por quadra (2 por lado de quadra). Esta última densidade foi estabelecida observando dados da cidade de Campinas, que apresenta uma densidade aproximada de 1350 habitantes/km² (IBGE, 2017). Uma área de 10 × 10 quadras equivale a 1,23km². Uma área de 15 × 15 quadras equivale a 2,75km². E uma área de 20 × 20 quadras equivale a 4,88km².

Com base na tendência de pior caso discutida no Apêndice I, aloca-se uma única vítima na última rua horizontal, ao centro. Os testes são executados com 2 socorristas. Nas simulações desta seção, e em algumas a seguir, o objetivo é verificar a velocidade da propagação da mensagem até um socorrista, baseado nas variáveis isoladas para cada caso em estudo. Por isso, mantém-se a quantidade de socorristas baixa (equivalente ao pior caso dessa variável), exceto quando o caso for para verificar justamente a variação de socorristas.

Conforme esperado, as maiores densidades levam a menores tempos de propagação da mensagem e atendimento da vítima. A observação da Tabela 6.1 permite estimar a razão dessa diminuição.

Observa-se um ganho de tempo maior com a mudança de densidade baixa para média. A razão disso é que há o aumento de 4 vezes o número de cidadãos. A mudança da densidade média para alta ocorre com 2 vezes o número de cidadãos.

Para as maiores áreas e densidades, o tempo de propagação da mensagem foi pouco mais de 10 minutos. Observando as simulações realizadas, nesses casos o socorrista recebe a mensagem próximo à borda inferior esquerda ou direita da área simulada (relativamente ao início do deslocamento). Considerando que a vítima está na última rua, ao centro, isso corresponde quase ao pior caso, à maior distância de propagação da mensagem. Por isso,

nesses casos, até mesmo o modelo de busca dos socorristas se torna irrelevante, devido à alta velocidade de propagação da mensagens considerando a rede com alta densidade de nós.

Tabela 6.1: Densidade: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Área	Densidade	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
001	10 × 10	baixa	1195,77	121,24	1422,15	144,62
002	10 × 10	média	776,30	119,48	1142,63	134,98
003	10 × 10	alta	457,23	57,04	1003,56	118,20
004	15 × 15	baixa	2075,26	293,45	2395,23	297,25
005	15 × 15	média	958,70	61,24	1653,20	115,50
006	15 × 15	alta	711,16	66,85	1573,31	129,90
007	20 × 20	baixa	2448,80	213,24	3064,03	208,07
008	20 × 20	média	1117,01	129,98	2141,83	152,36
009	20 × 20	alta	862,26	73,42	2074,40	224,57

Portanto, o mais interessante é estudar cenários com baixa densidade, onde o tempo de propagação e atendimento será maior. Inclusive, o modelo de mobilidade dos socorristas e o mecanismo de troca e priorização de mensagens exercerá maior relevância na simulação.

Dessa forma, prossegue-se com os demais cenários de estudo em áreas de 15 × 15 e de baixa densidade. A escolha dessa área, em detrimento da área de 20 × 20, deve-se ao fato de abranger uma quantidade de nós inferior, o que viabiliza computacionalmente o andamento de todas as demais simulações que são realizadas, em sua maioria, com essa mesma dimensão de área.

Outra observação que este caso permite, é em relação ao agrupamento de nós. Um dos resultados que o simulador oferece é um índice de agrupamento dos nós, que corresponde à aproximação desses nós uns dos outros ao longo da simulação, conforme comentado na Seção 5.3.5. A Tabela 6.2 apresenta uma compilação aproximada dos tempos médios de agrupamento para as três densidades analisadas. Esse tempo é representado em porcentagem, em relação ao tempo total da simulação.

Os valores indicados na Tabela 6.2 são cumulativos: o tempo gasto ao alcance de dois vizinhos está incluído no tempo gasto ao alcance de um vizinho. O tempo gasto ao alcance de três vizinhos está incluído no tempo gasto ao alcance de dois vizinhos, e assim sucessivamente.

$\dagger \sigma$ – Propagação.

$\ddagger \sigma$ – Atendimento.

O tempo gasto ao alcance de um vizinho é complementar ao tempo gasto sem identificar um nó vizinho. A última coluna corresponde ao tempo médio, em segundos, que um nó passa ao alcance de outro.

Por exemplo, em uma simulação hipotética de 1000 segundos, um nó pode passar 400 segundos sem identificar um outro nó. Portanto, ele passa 600 segundos identificando ao menos um nó. Mais detalhadamente, o nó pode ter passado 300 segundos ao alcance de outros dois, e 100 segundos ao alcance de outros três. Dessa forma, o tempo ao alcance de três nós está incluído no tempo ao alcance de dois nós, que por sua vez está incluído no tempo ao alcance de um nó. Sendo este último complementar ao tempo sem identificar outro nó.

Tabela 6.2: Agrupamento: Tempo de agrupamento dos nós.

Densidade	Quantidade de Vizinhos											Tempo Vizinho
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
baixa	72,8	27,2	7,5	1,4	0,2	0	0	0	0	0	0	22,9
média	44,8	55,2	41,6	30,0	17,4	9,0	4,4	2,2	1,3	0,8	0,6	26,8
alta	11,0	89,0	55,0	47,6	42,2	36,6	30,5	23,8	16,5	10,9	7,0	31,1

Os dados na Tabela 6.2 apontam o nível de proximidade entre os nós durante as simulações com diferentes densidades. É possível constatar, por exemplo, que em 30% do tempo de uma simulação com alta densidade, cada nó possui em média 6 vizinhos (nós ao seu alcance). É importante ressaltar que esses nós indicam possíveis conexões e não nós efetivamente identificados. Esses nós podem estar na distância máxima de conexão (cerca de 100 m) e não necessariamente há poucos metros.

Esses resultados apontam para um cenário dinâmico, de baixo agrupamento. Isso é um reflexo dos modelos de mobilidade adotados, e nesse caso afasta a possibilidade de explorar características de uma MANET, para um roteamento pró-ativo, apoiando-se em compartilhamento de recursos entre os nós, considerando sua proximidade. Em um cenário com os nós permanecendo por mais tempo ao alcance uns dos outros, uma possível abordagem é propor a determinação de *clusters* de rede, onde alguns nós gerenciam as rotas e compartilham recursos, como acesso a Internet (TORRES et al., 2012).

Mas, para isso, o estudo tem que partilhar de um ambiente menos intermitente, que forme “ilhas” onde os nós possam estacionar, caracterizando a composição de MANETs. Como nesse estudo é observado o caso contrário, apontando para uma rede com características de DTN, a abordagem de comunicação deve ser reativa, conforme cada nova

oportunidade de conexão, com os nós realizando a transmissão de mensagem de forma epidêmica, disseminando a mensagem por toda a rede.

Este trabalho se concentra na análise de um ambiente pautado pela mobilidade dos nós, a fim de determinar os tempos de disseminação da mensagem na rede. Por isso foram desenvolvidos e adotados modelos de mobilidade mais dinâmicos, tornando o agrupamento de nós na rede mais baixo.

Mesmo considerando um cenário com alta densidade, em que mais da metade do tempo de simulação um nó possui pelo menos dois vizinhos, observa-se que o tempo em que um nó passa próximo ao outro permanece baixo, em cerca de 30 segundos. Essa caracterização da rede afasta uma proposta baseada em agrupamento de nós, mas abre a possibilidade para estudos futuros implementarem modelos de mobilidade que gerem mais agrupamentos persistentes.

6.2 Mobilidade dos Cidadãos

O caso que ora se apresenta analisa a relação entre o tamanho de área percorrida pelo cidadão (vizinhança) e a propagação das mensagens pela rede. São testadas 16 configurações, variando valores de densidade e vizinhança.

Uma vizinhança de valor zero indica que os cidadãos apenas percorrem a sua própria quadra de residência. Logo, uma vizinhança de 1 corresponde ao cidadão se locomover até uma quadra a mais de distância da sua vizinhança. Uma vizinhança de 2 e 3 corresponde ao aumento proporcional dessa região de locomoção.

As densidades testadas são com 1 nó cidadão por quadra (1/1), 1 nó a cada 2 quadras (1/2), 1 nó a cada 4 quadras (1/4), e com 1 nó a cada 6 quadras (1/6). Os nós são distribuídos conforme especificado no Algoritmo 2. A Figura 6.1 representa visualmente a distribuição dos cidadãos pelas quadras. As quadras em preto representam a presença dos cidadãos.

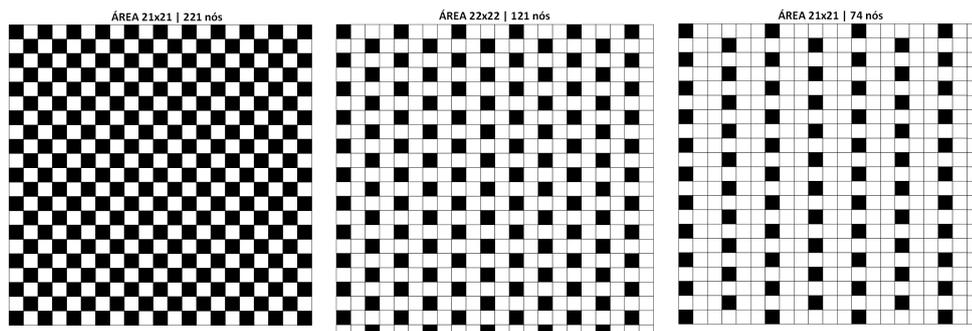


Figura 6.1: Distribuição de nós cidadãos.

Aloca-se uma única vítima na última rua horizontal, ao centro, e os testes são executados com 2 socorristas. Os casos são testados em áreas de 21×21 quadras, exceto para nós distanciados a 4 quadras, em que é aplicado uma área de 22×22 quadras. Esse é arranjo de áreas mais próximos em dimensão para que se possa criar o padrão de distanciamento dos cidadãos conforme representado na Figura 6.1.

Os dados na Tabela 6.3 apontam para o aumento do tempo das simulações conforme o distanciamento dos nós (diminuição da densidade), e como o aumento da área da vizinhança (área de locomoção dos nós) reduz esse aumento do tempo necessário para atendimento.

Tabela 6.3: Vizinhança: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Vizinhança	Nós/Quadra	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
010	0	1/1	2371,40	266,43	2916,11	319,08
011	0	1/2	8744,80	880,97	9130,06	833,13
012*	0	1/4	17214,71	539,80	17229,15	549,20
013*	0	1/6	16886,45	755,8	16901,45	857,70
014	1	1/1	2227,90	217,73	2778,23	228,62
015	1	1/2	3515,43	293,66	4416,26	319,49
016	1	1/4	4965,43	536,87	5690,90	332,38
017	1	1/6	6974,63	478,52	7415,16	477,77
018	2	1/1	2162,53	162,74	2513,86	248,95
019	2	1/2	3536,23	303,56	4384,93	328,33
020	2	1/4	4918,40	372,59	5555,23	491,43
021	2	1/6	5700,36	447,64	6386,80	545,15
022	3	1/1	1960,06	194,51	2668,00	161,35
023	3	1/2	3486,23	403,32	4470,66	519,56
024	3	1/4	4284,10	433,04	4913,66	339,76
025	3	1/6	5005,76	452,01	5425,26	427,81

Em todos esses casos houve a propagação da mensagem pela rede, com ressalva para dois casos: as *strings* 12 e 13. Isso é compreensível pelo fato de que a configuração 12 corresponde a nós com 4 quadras de distância, e com a vizinhança restrita somente à própria quadra não

*Sem conectividade da rede.

$\dagger \sigma$ – Propagação.

$\ddagger \sigma$ – Atendimento.

há disseminação de mensagens pela rede. O mesmo ocorre com a configuração 13 pelos nós estarem com 6 quadras de distância. Nesses casos, o atendimento acontece somente quando o socorrista encontra diretamente a vítima, o que ocorre na iminência do fim da carga da bateria. Em algumas repetições desses casos o socorrista chegou até a vítima ainda com pouca bateria restante no *smartphone*, e em outras com a bateria já esgotada.

Para os demais casos de estudo desse trabalho, define-se uma vizinhança de valor 0. Essa escolha representa a adoção de um valor mais cauteloso, permitindo análises com resultados de propagação e atendimento um pouco mais elevados. Isso é devido ao nó não se afastar da proximidade da sua residência, e assim não receber rapidamente muitas mensagens e nem propagá-las diretamente para nós mais distantes, diminuindo a velocidade de disseminação pela rede. Em contrapartida, adota-se o valor de um nó por quadra, que apresenta resultados melhores com valores de tempo de simulação inferiores. Essa escolha ocorre por ser plausível supor que, baseado nos requisitos dessa proposta, alinhada à propaganda e esforço do poder público de adoção dessa solução, ao menos um nó por toda a quadra adira à rede.

Outra análise que esse caso permite é quanto ao consumo das baterias. Inicialmente, esse era um fator de preocupação, pois a rede precisa permanecer ativa por um tempo suficiente para a disseminação das mensagens das vítimas, e de preferência persistir ao longo de todos os atendimentos. Como a rede funciona com os sinais de Wi-Fi e Bluetooth, além de consumos intrínsecos ao funcionamento dos *smartphones*, as cargas das baterias poderiam acabar comprometendo a rede.

Porém, pelas simulações executadas, esse consumo se mostrou aceitável. A Tabela 6.4 apresenta o consumo em relação à carga total, para os diferentes cenários. Destaca-se que a carga inicial dos *smartphones* é aleatorizada com um valor entre 2754 mAh e 3470 mAh (valores de referência dos dispositivos usados para medição prática desse consumo). Também é possível conferir a porcentagem de consumo entre diferentes aspectos desse consumo.

Tabela 6.4: Carga: Porcentagem de consumo da bateria.

Vizinhança	Nós/Quadra				Tipo de Consumo		
	1/1	1/2	1/4	1/6	Bluetooth	Wi-Fi	Variado
0	29,98	56,10	99,84	98,76	26,92	43,75	29,31
1	19,66	29,88	36,76	46,33	26,13	45,05	28,81
2	19,38	29,91	35,96	40,43	25,88	45,45	28,66
3	20,29	31,07	26,80	35,22	25,80	45,57	28,62

Pode-se observar que o consumo médio dos nós da rede é o suficiente para mantê-la operando para o atendimento da vítima, considerando o pior caso (mais distante do socorrista). Em média, o consumo não atinge a metade da carga inicial. Mesmo comparando com os consumos nos casos de teste de outras seções, nenhum *smartphone* teve toda a carga consumida.

Os consumos estão diretamente atrelados ao tempo da simulação, suficiente para atender todas as vítimas. Alguns dos tempos mais altos obtidos foram nos casos de teste das *strings* 120, 121 e 122, em que devem ser atendidas nove vítimas, em uma rede composta apenas pelos nós socorristas. A média de tempo da simulação foi de 9200 segundos, e foi consumido pouco mais da metade da carga da bateria (aproximadamente 1200 mAh). Esse resultado corrobora a observação quanto aos casos das *strings* 12 e 13 que, com cerca de 17000 segundos de simulação, apresentaram o término da carga das baterias.

Dessa forma, conclui-se que, mesmo para redes formadas somente por socorristas ou com densidades tão baixas em que os nós cidadãos praticamente não troquem mensagens, a preocupação com a carga do *smartphone* não deve ser relevante, para as dimensões apontadas nessas simulações. Em uma rede composta somente por nós socorristas, que a princípio devem se planejar previamente para a operação, acredita-se que os *smartphones* estejam em carga máxima, e que os socorristas possam fazer uso de carregadores portáteis, possuindo uma disponibilidade de operação para várias horas.

Quanto às redes compostas com nós cidadãos participativos na troca de mensagens, essa colaboração reduz o tempo de atendimento e, portanto, reduz o consumo das baterias. Conforme os resultados da Seção 6.9, em uma área de 15×15 , com 4 socorristas atendendo 9 vítimas em um tempo de 9200 segundos, 1200 mAh seria o suficiente para suportar a rede, o que não representa metade da carga total de um modelo de *smartphone* de entrada.

Ainda observando a Tabela 6.4, a maior parte do consumo se deve à conexão com a rede Wi-Fi. Os valores desses consumos foram medidos e apresentados no Apêndice H. A Tabela 6.4 ilustra o reflexo desses consumos nas simulações. Ressalta-se que quase um terço desse consumo, representado pela coluna “Variado”, é calculado pelo consumo constante da tela do *smartphone* ao longo do tempo da simulação. Foi adotada essa abordagem a fim de se obter dados ainda mais cautelosos. Porém, na prática, acredita-se que não haveria esse consumo nessa grandeza. Portanto, os resultados de consumo obtidos pelas simulações seriam ainda mais modestos, reforçando a viabilidade da duração dessa rede.

6.3 Regiões Alagadas e com Escombros

O caso abordado nesta seção analisa o impacto das áreas alagadas e obstruções com escombros na simulação. São testadas nove configurações, variando a quantidade de cada um desses elementos.

São testados casos com áreas sem escombros (“nulo”), áreas com escombros em todos os segmentos de ruas (“total”) e áreas com escombros a cada dois segmentos de rua (“parcial”). Similarmente, são testados casos com áreas sem alagamentos, áreas com alagamentos em todos os segmentos de ruas, e áreas com alagamentos a cada dois segmentos de rua. Aloca-se uma única vítima na última rua horizontal, ao centro, e os testes são executados com 2 socorristas, 1 cidadão por quadra, em uma área de 15×15 quadras.

Escombros e alagamento são identificados como as principais mudanças físicas no local de ocorrência de fenômenos hidrológicos ou meteorológicos, conforme consta na Seção 2.1.1. Portanto, é interessante modelar uma abordagem que vise representar esses dois elementos básicos que se tornam obstáculos na região afetada por desastres naturais.

Não foram identificadas na literatura simulações de regiões de desastres naturais discutindo a influência no tempo de atendimento causada pela frequência de obstáculos (escombros ou alagamentos). O que se identifica são abordagens alocando estrategicamente alguns obstáculos em posições específicas, para restringir um fluxo de deslocamento no local.

Neste trabalho, por focar no tempo de propagação e atendimento absolutos por toda a região, considerou-se interessante analisar a influência de escombros e ruas alagadas por toda a área simulada. Como efeito de um estudo inicial dessa abordagem, neste trabalho determina-se que um segmento de rua alagado é uma área que reduz a velocidade de deslocamento do nó pela metade, por considerar um alagamento de baixo nível, e que não impeça a locomoção. Os escombros são os elementos que restringem a locomoção momentaneamente. Mas, mesmo assim, não a impedem. Os escombros bloqueiam a locomoção por um período de tempo, simulando o esforço necessário para transpor o obstáculo.

Com essas definições, foram testadas diferentes combinações de quantidades de escombros e alagamentos pela região, para verificar o impacto na locomoção dos nós, e por consequência no tempo da simulação. Na Tabela 6.5, verifica-se que o tempo no pior caso, com escombros e alagamentos em todas as ruas, é cerca do dobro em relação ao tempo no melhor caso (sem escombros ou alagamentos).

Tabela 6.5: Obstáculos: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Escombros	Alagamentos	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
026	nulo	nulo	2079,93	284,86	2706,53	315,24
027	nulo	parcial	3070,66	285,61	3999,93	347,99
028	nulo	total	3323,50	258,47	5253,02	414,44
029	parcial	nulo	2531,40	333,70	3443,46	289,39
030	parcial	parcial	3264,96	495,69	5205,73	311,72
031	parcial	total	4051,40	268,56	6959,83	427,75
032	total	nulo	2644,10	257,14	5017,53	488,54
033	total	parcial	3483,33	449,81	6722,43	423,66
034	total	total	4294,10	370,97	8403,43	509,25

O que mais afeta no tempo da simulação são os alagamentos, que aumentam em cerca de 50% o tempo de propagação e atendimento. Porém, a menos que o desastre seja especificamente causado por um transbordamento de rio, não seria interessante restringir as demais simulações a esse cenário. Por outro lado, os escombros isoladamente, mesmo em grande quantidade cobrindo metade da região, demonstrando relativo impacto menor e aumentam em cerca de 25% o tempo de propagação e atendimento. Mas esse cenário novamente seria muito específico e drástico, representando escombros em pelo menos metade de toda a região.

Com a abordagem adotada para modelar esses elementos neste trabalho, constatou-se pouco impacto individual de cada elemento na simulação, necessitando de grande quantidade desses obstáculos para representar um impacto observável no tempo de simulação. Pode ser necessária uma investigação futura para determinar mais precisamente a razão da quantidade de obstáculos dispersos em uma área afetada por desastre natural, para empregar com maior assertividade a quantidade desses elementos na simulação. Dessa forma, resolveu-se suprimir para os casos de testes seguintes a presença desses elementos, focando o estudo na mobilidade dos nós para propagação das mensagens e atendimento das vítimas.

$^\dagger \sigma$ – Propagação.

$^\ddagger \sigma$ – Atendimento.

6.4 Quantidade e Posicionamento das Vítimas e Socorristas

Nesta seção, analisa-se a relação da quantidade de vítimas e socorristas com o tempo da simulação. São testadas 21 configurações.

As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras com 1 cidadão por quadra. Utiliza-se 2, 4 ou 8 socorristas; e 1, 5 ou 9 vítimas, conforme ilustrado na Figura 6.2. Avalia-se simulações com as vítimas dentro de casa (i) e na rua (o). A primeira vítima é posicionada no pior caso, conforme identificado no Apêndice I. As vítimas seguintes são posicionadas de forma equidistante na região central da área da simulação. Todas as vítimas possuem a mesma prioridade. Ao final, nas últimas três simulações, é feita uma comparação com tempos distintos de chegada dos socorristas na região simulada.

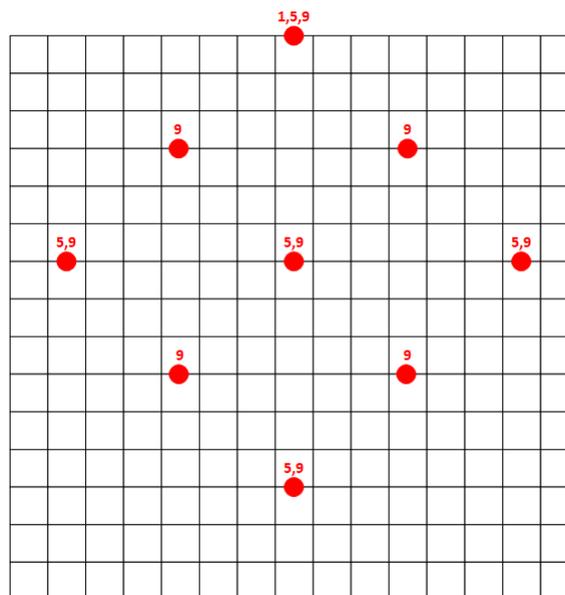


Figura 6.2: Distribuição das vítimas.

Os dados da Tabela 6.6 apontam para um aumento nos tempos de propagação das mensagens quando as vítimas se encontram dentro das residências. Esse aumento demonstra ser até mais de 20%. Isso é esperado, pois nesses casos, para ocorrer a passagem da mensagem da vítima para um primeiro nó cidadão, este teria que se aproximar da frente da residência e estabelecer uma conexão somente por Wi-Fi Direct, conforme resultados no Apêndice F. Dessa forma, o raio de alcance e o meio de comunicação são restritos, enquanto na rua, em visada direta, o raio de alcance é máximo e as conexões ocorrem tanto por Bluetooth quanto por Wi-Fi Direct.

Tabela 6.6: Vítimas e Socorristas: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Vítimas	Socorristas	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
035	1-i	2	2791,83	243,86	3732,63	291,24
036	1-i	4	2563,10	174,74	3144,09	192,75
037	1-i	8	2031,90	302,47	2461,36	247,42
038	1-o	2	1971,01	249,08	2443,53	274,33
039	1-o	4	1812,26	222,14	2235,02	227,96
040	1-o	8	1489,90	222,87	1956,96	206,84
041	5-i	2	3085,26	240,22	4081,51	396,78
042	5-i	4	2645,53	279,41	3466,70	300,64
043	5-i	8	2597,30	269,48	3009,93	279,50
044	5-o	2	2394,30	338,03	3362,36	305,28
045	5-o	4	1918,56	181,83	2601,63	229,75
046	5-o	8	1688,03	205,75	2012,30	268,87
047	9-i	2	3395,80	358,53	6064,20	457,50
048	9-i	4	2908,53	385,80	3778,23	374,07
049	9-i	8	2750,11	319,57	3251,26	451,95
050	9-o	2	2565,11	369,31	5597,26	469,59
051	9-o	4	2031,80	193,81	3654,80	225,96
052	9-o	8	1828,56	253,19	2650,73	308,87
053	9-o	8 (5 min)	1790,63	124,41	2713,83	305,47
054	9-o	8 (10 min)	1641,02	206,73	2459,53	186,82
055	9-o	8 (15 min)	1496,10	214,50	2294,86	143,33

É necessário observar o motivo para esse aumento de tempo com as vítimas dentro das residências: a definição do modelo de mobilidade dos cidadãos. Com uma vizinhança de valor 0, a mobilidade do cidadão fica restrita à sua quadra. Portanto, esse aumento de tempo corresponde, na prática, ao tempo do cidadão percorrer a quadra, se aproximar da frente da residência da vítima e, nessa janela de tempo, coincidir a possibilidade de uma conexão por Wi-Fi Direct. Dessa forma, tende a ser constante, entre os diferentes casos, o incremento do tempo necessário para o cidadão dessa mesma quadra percorrê-la. Observando a Tabela 6.6,

$^\dagger \sigma$ – Propagação.

$^\ddagger \sigma$ – Atendimento.

independente da quantidade de vítimas ou socorristas, esse incremento no tempo da propagação é de aproximadamente 700 segundos, o que indica um atraso médio para se iniciar a propagação da mensagem da vítima quando esta se encontra dentro da residência.

O aumento da quantidade dos socorristas também representa uma diminuição no tempo da simulação. Porém, é importante analisar cada situação distinta. Por exemplo, para uma única vítima, poderia-se supor que, a princípio, não surtiria efeito aumentar a quantidade de socorristas, uma vez que haverá um único atendimento nessa simulação. Porém, isso não é o observado nos dados da Tabela 6.6, uma vez que o tempo decresce com mais socorristas.

A razão para essa diminuição do tempo se encontra no fato de que, com mais socorristas, estes definem uma rota de busca mais dispersa. Portanto, quando algum socorrista se aproxima da vítima mais rapidamente, isso agiliza o tempo de propagação e atendimento.

Para 5 vítimas, pode ser mais apropriado analisar de outra forma: em média, seriam necessários 3 ciclos de atendimentos com 2 socorristas; 2 ciclos com 4 socorristas; e 1 ciclo com 8 socorristas. Isso é refletido na proporção da diferença entre os tempos de atendimento.

Para 9 vítimas ocorreria de forma equivalente: 10 ciclos de atendimentos com 2 socorristas; 3 ciclos com 4 socorristas; e 2 ciclos com 8 socorristas. Observe-se como, nesses últimos casos, a diferença no tempo de atendimento é maior entre 2 e 4 socorristas, do que entre 4 e 8 socorristas.

A partir desses dados obtidos e observações realizadas, define-se valores dessas variáveis para as simulações seguintes. Nove vítimas demonstram ser uma quantidade razoável para cobrir de forma dispersa uma área de 15×15 quadras. Isso mantém as vítimas em uma distância mínima, conforme ilustrado na Figura 6.2, que permita a disseminação das mensagens de forma a alcançarem diferentes socorristas em diferentes instantes. Esse é um fator necessário ao se analisar o funcionamento da aplicação SBDA, baseado na troca de prioridades e alteração de vítimas, conforme o recebimento das mensagens das vítimas pelos socorristas for progressivo ao longo da simulação. Para demais estudos que não foquem diretamente na dinâmica de troca de mensagens e atendimento dos socorristas, uma única vítima é suficiente para o caso de teste.

Para os casos que terão nove vítimas, define-se que atuar com quatro socorristas seja adequado, pois dessa forma não haverá nem tanta disparidade entre o número de socorristas e vítimas, e nem tanta proximidade, o que levaria a um atendimento único por socorrista. Além disso, com quatro socorristas há o uso de toda a orquestração de movimentos como

apresentados no Apêndice I, onde cada socorrista seguirá para um lado da região, iniciando um movimento por ruas verticais ou horizontais.

Em relação à alocação da vítima interna ou externamente à residência, define-se prosseguir com a alocação de posicionamento externo. Conforme já apresentado, os resultados da alocação interna demonstram uma propagação de, em média, 700 segundos a mais do que com a vítima na rua. Portanto, no caso de vítimas internas, poderia-se estimar o tempo com esse acréscimo.

O primordial desses testes é definir a configuração de um ambiente simulado para se analisar principalmente as variáveis do SBDA, no tocante à lógica de atendimento, manutenção da tabela de vítimas e mudança de prioridades e vítimas em atendimento. Dessa forma, o ponto inicial de propagação da mensagem (com a vítima alocada interna ou externamente à residência) não é um elemento de impacto primordial na rede formada para esse estudo.

Embora essa representação com a vítima interna seja mais interessante sob o ponto de vista de um cenário real, reconhece-se que esse aspecto, semelhante aos casos das modelagens dos escombros e alagamentos, demanda uma melhor definição para inclusão na simulação. Os testes realizados no Apêndice F exploram a possibilidade de conexão entre barreiras (paredes), contudo com resultados restritivos. Essas medições foram realizadas de forma estacionária. Porém, após a conclusão do desenvolvimento do simulador e observação das simulações, acredita-se que testes adicionais devam ser executados de forma móvel, semelhante ao cenário simulado, para constatar com maior confiabilidade a possibilidade dessas conexões entre rua e casa.

Em contrapartida, pensando em um cenário de desastre natural, mesmo uma vítima dentro de uma residência teria a possibilidade de ter a divulgação de sua posição na rede *ad hoc*. Em um cenário como esse, vizinhos poderiam adentrar na residência em busca da vítima, ou outras pessoas da residência sairiam em busca de ajuda, disseminando assim a mensagem pela rede. Portanto, considerando isso, poderia-se enxergar a localização da vítima, interna ou externa, como um detalhe que não afetaria de forma lógica a disseminação da mensagem pela rede.

Por fim, os três últimos casos de testes desta seção exploram diferentes tempos de chegada dos socorristas na região. Embora mais tempo que levem para chegar na região cause uma maior prorrogação do início da busca pela vítima, por outro lado, quando os socorristas iniciarem as buscas, já terá ocorrido uma disseminação prévia das mensagens

pela rede, diminuindo o tempo de atuação dos socorristas na região. Observa-se que os valores na Figura 6.2 não contabilizam o tempo aguardado para a chegada dos socorristas. Por isso, deve-se somar o valor de espera considerado em cada caso.

Em uma situação real, espera-se que haja um tempo mínimo de resposta para os socorristas chegarem à região, por mais que estejam de sobreaviso em relação à ocorrência de um fenômeno natural que possa causar um desastre. Porém, nessas simulações, adota-se que o início das buscas coincida com o início da emissão das mensagens das vítimas. Primeiro, pelo tempo de chegada dos socorristas ser uma variável particular de cada região atingida e desastre causado, e segundo, para a busca não se privilegiar de uma disseminação prévia das mensagens. Assim, adota-se uma postura mais cautelosa com essa variável da simulação.

6.5 Nível de Emergência das Vítimas

Nesta seção, analisa-se a relação do nível de emergência das mensagens e quantidade de socorristas com o tempo da simulação. São testadas 18 configurações definidas a seguir.

As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras com 1 cidadão por quadra. São utilizados 2, 4 ou 8 socorristas. São utilizadas 9 vítimas, em 6 diferentes arranjos de prioridade de emergência das vítimas, conforme ilustrado na Figura 6.3. Em cada área nessa figura são representadas duas configurações distintas: uma com o número do nível de emergência representado acima do nó, e outra com o nível de emergência representado abaixo. Dessa forma, são testadas diferentes combinações e direções de aumento do nível de emergência das vítimas, para verificar a influência na distribuição e troca de mensagens entre os socorristas e conseqüente impacto no tempo da simulação.

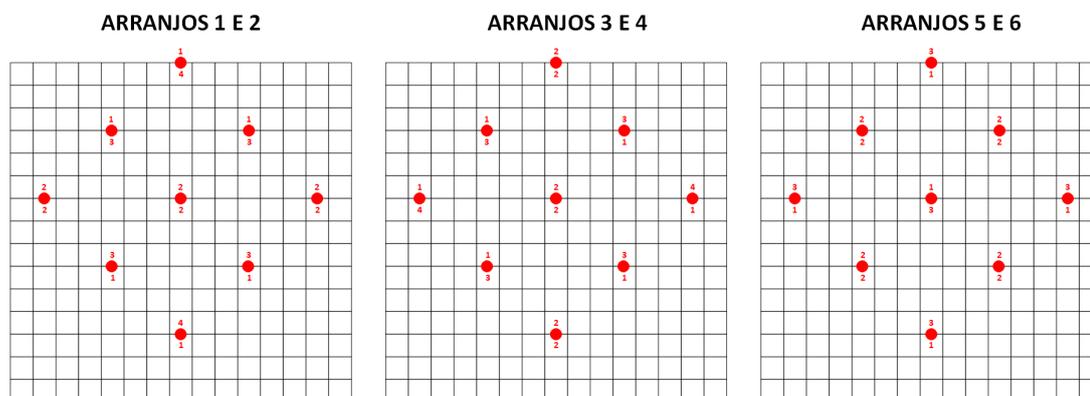


Figura 6.3: Arranjos de níveis das vítimas.

Os dados da Tabela 6.7 apontam os tempos da simulação para diferentes arranjos de vítimas. Esses arranjos são constituídos de nove vítimas, na mesma posição, apenas alterando o valor do nível de emergência, conforme ilustrado na Figura 6.3.

Tabela 6.7: Níveis das vítimas: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Arranjo	Socorristas	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
056	1	2	1915,26	264,28	5208,26	345,96
057	2	2	2332,36	165,97	5577,70	332,26
058	3	2	2007,60	168,72	5270,53	367,02
059	4	2	1947,53	285,88	5352,86	284,90
060	5	2	1773,83	272,37	5229,56	336,93
061	6	2	2258,46	124,50	5792,61	343,10
062	1	4	1537,63	159,95	3488,96	287,94
063	2	4	1977,10	226,17	3505,11	330,16
064	3	4	1879,03	154,80	3760,63	426,12
065	4	4	1793,73	215,66	3875,56	234,83
066	5	4	1477,83	131,27	3513,96	280,89
067	6	4	2049,36	122,94	3616,90	285,98
068	1	8	1468,10	178,52	2367,73	272,08
069	2	8	1793,61	123,41	2575,40	249,99
070	3	8	1551,22	106,18	2537,90	206,52
071	4	8	1521,16	164,18	2389,36	243,37
072	5	8	1312,33	196,40	2211,16	163,04
073	6	8	1576,43	174,72	2473,73	179,52

Nos arranjos 1, 2, 3 e 4, o nível de emergência das vítimas aumenta nas direções norte, sul, oeste e leste, respectivamente. Por sua vez, nos arranjos 5 e 6, o nível de emergência das vítimas aumenta em direção ao centro e em direção à borda da região, respectivamente.

Observa-se que os arranjos 1 e 5 apresentam os menores valores de tempo de propagação e atendimento. Esses arranjos representam um aumento de nível de emergência em vítimas mais ao norte e ao centro. Essa é a direção de locomoção dos socorristas, uma vez que iniciam ao sul, se dirigindo às bordas da região. De forma oposta, os arranjos 2 e 6 apresentam os maiores

$\dagger \sigma$ - Propagação.

$\ddagger \sigma$ - Atendimento.

valores de tempo de propagação e atendimento. Esses arranjos representam um aumento de nível de emergência em vítimas mais ao sul e à borda. Essa é uma representação de nível maior próximo justamente do início do movimento dos socorristas. Os arranjos 3 e 4 apresentaram valores próximos entre si e médios entre os demais arranjos.

Em um primeiro momento, essa observação aparenta ser contraintuitiva. Pressupõe-se que iniciar o atendimento próximos de vítimas de maior nível de emergência, e consequentemente de maior prioridade, traria um ganho no tempo total de atendimento. A razão especulada para isso seria supor que aos socorristas identificarem primeiramente vítimas de maior prioridade, faria com que justamente os atendimentos de maior prioridade ocorressem inicialmente, causando menos interrupções e mudanças de atendimento seguintes na simulação, causados por identificações mais tardias de vítimas com alta prioridade.

Contudo, pelo resultado observável ser o oposto desse pensamento, acredita-se que a razão disso esteja no distanciamento inicial ganho entre os socorristas. Reitera-se que a prioridade da mensagem é composta pelo nível de emergência e pela distância até as vítimas. Por isso, raciocina-se que, caso as vítimas de maior prioridade estejam próximas do início do movimento dos socorristas, mais socorristas receberão essa mensagem mais rapidamente, sem terem outras opções de vítimas, e compartilharão de um mesmo atendimento inicial. Isso gerará mais cancelamentos de atendimentos e retornos às rotas de busca.

Se os socorristas encontram inicialmente vítimas de menor nível de emergência, as prioridades serão maiores para os socorristas mais próximos, fazendo que menos mudanças ocorram inicialmente e cada socorrista atenda a vítima mais próxima que identificou. Com esses atendimentos iniciados, as mensagens das vítimas mais distantes, com maior nível de emergência, estarão alcançando esses socorristas, mas a tempo de trocarem informações e definirem qual o socorrista que terá maior prioridade de atendimento para cada nova mensagem recebida.

Esse cenário é semelhante ao discutido na seção anterior, quando o socorrista chega mais tardiamente na região, e se privilegia de uma disseminação prévia das mensagens pela rede. Mas no caso dessa seção, com a vantagem de estar cumprindo um atendimento inicial com uma vítima mesmo que de menor nível de emergência. De fato, nesse cenário específico, com níveis de emergência crescentes conforme o avanço dos socorristas pela região, o distanciamento entre os socorristas, e um maior peso na distância do que no nível da mensagem para compor

a prioridade, aparenta contribuir para um tempo de atendimento mais ágil. Os dados obtidos na seção Seção 6.11, utilizando esse arranjo de vítimas e níveis de emergência, demonstram como o peso da distância até a vítima contribui mais para baixar o tempo de atendimento, do que o nível de emergência. Uma maior análise desse fator está nessa seção.

Para os demais casos de teste em que forem adotadas 9 vítimas, emprega-se o arranjo 1, por privilegiar um melhor fluxo de atendimento como discutido. Em relação aos socorristas, como discutido na Seção 6.4, permanece a adoção de 4 socorristas para 9 vítimas. Além de ser um valor intermediário para essa quantidade de vítimas, observa-se, com os dados da Tabela 6.7, que o ganho em tempo de atendimento de 2 para 4 socorristas é maior do que 4 para 8 socorristas, reforçando a observação de ser o suficiente a metade de socorristas em relação à quantidade de vítimas.

Ainda, para os casos de testes desta seção, é pertinente observar dados apresentados pelos conjuntos de resultados das janelas de “Tempos” e “Socorristas”, ao final das simulações. Alguns desses dados de maior interesse estão apresentados na Tabela 6.8. São apenas apresentados os resultados dos arranjos simulados para 4 socorristas, uma vez que essa será a quantidade de socorristas adotados para 9 vítimas. São mostrados os tempos de atendimento médios, separados para as vítimas de cada nível de emergência. É apresentada a ordem de atendimento das vítimas e, por fim, quantas mudanças de atendimento ocorreram, em média.

Ressalta-se que para cada simulação pode ocorrer uma ordem de atendimento distinta. Por isso, representa-se a ordem mais comum observada entre as repetições das simulações, sendo utilizado o número do nível de emergência associado a cada vítima atendida.

Tabela 6.8: Tempos de atendimento por nível e mudanças de atendimento.

<i>String</i>	Tempos de Atendimento				Ordem	Mudança	
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4		Ativa	Passiva
062	1709,44	2210,63	3181,70	3488,96	2-1-1-1-2-2-3-3-4	8,6	13,3
063	1350,86	2357,05	2951,21	3505,11	1-2-1-1-2-2-3-3-4	2,6	14,6
064	1501,24	2539,52	2990,92	3760,63	1-2-1-1-3-2-2-3-4	4,6	16,3
065	1603,55	2335,32	3266,46	3875,56	1-1-1-2-2-3-2-3-4	6,0	15,3
066	1357,30	2424,26	3513,96	-	1-2-2-2-2-3-3-3-3	5,3	13,0
067	1465,16	2431,08	3616,90	-	1-1-1-2-2-1-2-2-3	5,0	14,3

Observa-se que, pelos tempos de atendimento médios das vítimas de acordo com o nível de emergência, as vítimas com maior nível tendem a receber um atendimento mais rápido. Isso

alinha-se à observação da média de sequência de atendimento em cada caso. No geral, é seguida a ordem do nível de emergência. Embora espere-se que alguns socorristas não tenham recebido todas as mensagens e logo prossigam para atendimentos de vítimas que não tenham o maior nível de emergência na região. Destaca-se que, no geral, a dinâmica de troca de mensagens para priorizar uma sequência de atendimento para vítimas de maior nível demonstrou ser funcional.

Outro dado importante que a Tabela 6.8 apresenta é em relação à quantidade de mudanças de atendimento. Mudanças ativas são quando o socorrista identifica uma nova vítima com prioridade maior, e redireciona seu atendimento a ela. Mudanças passivas são quando o socorrista recebe informação de outro atendendo a mesma vítima, possuindo maior prioridade, tendo portanto que mudar o seu atendimento atual. Mudanças passivas, portanto, são mais indesejadas.

Observa-se na Tabela 6.8 que ocorre menos mudanças passivas nos casos que tiveram menor tempo total de atendimento, representados pelos arranjos 1 e 5. Especulou-se que isso ocorreria pelos socorristas terem justamente menos mudanças de atendimentos, por já não encontrarem de imediato vítimas com maiores níveis de emergência na região, iniciando menos atendimentos em comum.

Portanto, os dados da Tabela 6.8 demonstram corroborar a hipótese prévia levantada nesta seção de que os arranjos 1 e 5 apresentavam menores tempos de simulação por, possivelmente, os socorristas perderem menos tempo em mudanças. Porém, ainda não é possível encerrar totalmente esse assunto. Há a quantidade de mudanças ativas que não segue a mesma proporção das mudanças passivas. Inclusive, as diferenças dos valores de tempo e mudanças ocorridas, entre os diferentes arranjos, são relativamente próximos, além do que os valores de mudanças são baixos, fato que pode ser objeto de um estudo futuro.

6.6 Mobilidade dos Socorristas

Esta seção aborda o impacto do modelo de mobilidade dos socorristas na propagação das mensagens pela rede. São testadas 14 configurações, alterando valores de quantidade de socorristas e modelo de mobilidade conforme descrito a seguir. As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras com 1 cidadão por quadra. São utilizados 2, 4 ou 8 socorristas. Aloca-se uma única vítima na última rua horizontal, ao centro.

Os modelos de mobilidade testados são o RWP Adaptado, Busca por Rua e Busca Direta. O modelo de Busca por Rua é o desenvolvido e descrito neste trabalho, no Apêndice I. Os modelos RWP Adaptado (mobilidade aleatória) e Busca Direta (melhor caso) representam comparações para o modelo proposto. Ainda, para a Busca por Rua é feita uma comparação com dados apresentados no Apêndice I, considerando diferentes áreas (de 5 a 9 quadras).

Os dados da Tabela 6.9 indicam a relação entre os modelos de mobilidades adotados pelos socorristas, com o tempo de propagação e atendimento. O modelo RWP Adaptado corresponde a uma mobilidade aleatória dos socorristas, semelhante a dos cidadãos. O modelo Busca Direta corresponde ao caso ideal, quando os socorristas conhecem a posição das vítimas desde o início da simulação. O modelo de Busca por Rua é o modelo proposto para ser empregado pelos socorristas juntamente ao uso da aplicação SBDA.

Tabela 6.9: Mobilidade dos socorristas: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Mobilidade	Socorristas	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
074	RWP Adaptado	2	3141,93	492,62	3677,26	515,51
075	Busca por Rua	2	1874,93	213,93	2290,73	290,78
076	Busca Direta	2	0	0	719,93	5,45
077	RWP Adaptado	4	2593,73	355,85	3070,33	463,13
078	Busca por Rua	4	1772,06	288,62	2126,43	258,80
079	Busca Direta	4	0	0	719,63	2,35
080	RWP Adaptado	8	1870,03	289,06	2247,40	294,76
081	Busca por Rua	8	1659,73	225,33	1921,46	192,57
082	Busca Direta	8	0	0	720,86	4,68
083	Busca por Rua	1 (9 quadras)	3597,90	21,91	3615,11	20,28
084	Busca por Rua	1 (8 quadras)	2060,23	3,76	2092,40	6,69
085	Busca por Rua	1 (7 quadras)	1838,56	16,99	1872,93	18,41
086	Busca por Rua	1 (6 quadras)	1535,33	37,73	1555,31	34,59
087	Busca por Rua	1 (5 quadras)	1335,03	8,98	1352,90	13,68

Como esperado, o modelo RWP Adaptado, que por sua aleatoriedade estima-se que seja próximo ao pior caso de mobilidade, apresentou o maior tempo de atendimento. O modelo

$\dagger \sigma$ – Propagação.

$\ddagger \sigma$ – Atendimento.

Busca Direta atingiu o menor tempo, por ser o caso ideal, e o modelo Busca por Rua obteve um tempo mediano.

Conforme o aumento do número de socorristas, essa diferença entre os modelos diminui. Porém, o importante para este trabalho é que o modelo Busca por Rua, proposto e utilizado nos demais casos de teste, permaneça melhor do que o RWP Adaptado, demonstrando ser uma solução consistente e sempre melhor do que simplesmente buscar uma vítima de forma aleatória. O modelo Busca por Rua, juntamente com a aplicação SBDA, são contribuições desse trabalho e compõem a estratégia de busca e atendimento como um todo.

É difícil estimar o melhor tempo que um modelo de mobilidade poderia apresentar sem ter o conhecimento prévio das vítimas, como o Busca Direta possui, mas isso poderia ser o alvo de estudo de novas pesquisas. Para a proposta desse trabalho, o fundamental é possuir um modelo de mobilidade com resultados consistentes para ser adotado nos casos de teste.

Inclusive, é importante frisar que a utilidade dos modelos de mobilidade dos socorristas são maiores para regiões com baixa densidade. Como já apresentado anteriormente, em uma região com grande densidade ou na qual os socorristas chegassem depois de um determinado tempo de disseminação da mensagem, é de se esperar que o modelo de mobilidade de busca não surta tanto efeito, pois em relativo pouco tempo os socorristas receberiam as mensagens das vítimas, e iniciariam os deslocamentos para atendimento, abandonando o modelo de mobilidade de busca. Portanto, o objetivo maior de um bom modelo de mobilidade do socorrista é para aproximar este das vítimas, em regiões com pouca disseminação das mensagens.

Outro resultado que a Tabela 6.9 trouxe é em relação aos 5 últimos cenários de testes executados. Eles representam um socorrista percorrendo toda sua rota de busca, em uma rede sem conectividade, até encontrar pessoalmente a vítima, posicionada no pior caso. Ou seja, os tempos obtidos representam um socorrista percorrendo cerca de metade dos segmentos de rua da região.

A Figura 6.4 apresenta uma relação entre os percursos dos socorristas e os tempos de simulação. É plausível supor que haja essa relação, restando descobrir sua proporção. Utilizando os resultados dos 5 últimos cenários de teste, associando-os à contagem de segmentos de rua percorridos, observável pelos diagramas do Apêndice I, é possível criar essa relação. Juntando esses dados com os observados nas configurações das *strings* 12 e 13 (para a área de 22×22), juntamente com um teste executado à parte para a área de 15×15 ,

estabeleceu-se a relação ilustrada na Figura 6.4, e uma regressão linear (RL) representada na Equação 6.1.

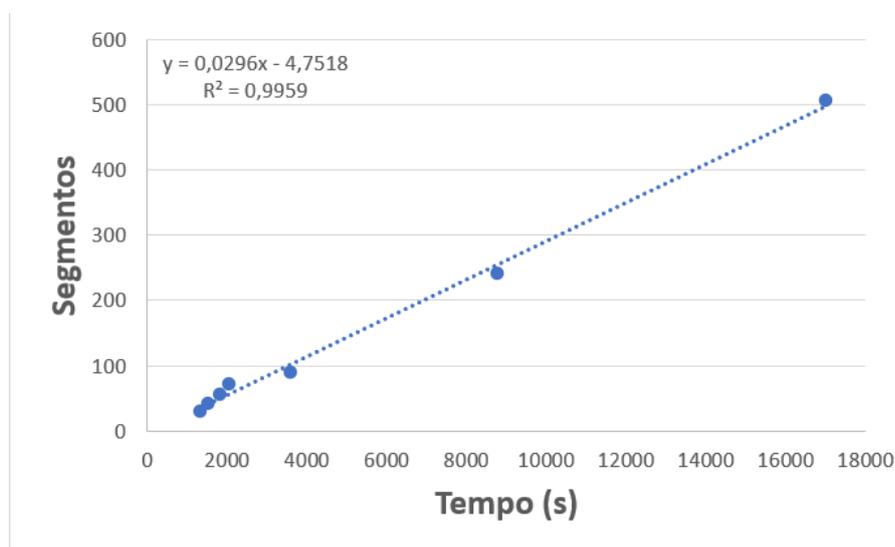


Figura 6.4: RL de tempo de simulação e segmentos de rua percorridos.

$$\text{Segmentos} = 0,0296 \times \text{Tempo} - 4,7518 \quad (6.1)$$

Destaca-se que essa relação é difícil de se obter por outros modelos de mobilidade, uma vez que, por enquanto, as simulações não registram uma contagem de segmentos percorridos. Dessa forma, só é possível ter essa estimativa em uma simulação utilizando o modelo de Busca por Rua, que percorre integralmente um caminho previsível até alcançar a vítima.

A Equação 6.1 permite obter uma métrica da eficiência do deslocamento dos socorristas. Isso pode ser calculado obtendo o tempo da simulação. Em seguida, aplicá-lo na Equação 6.1 para obter uma estimativa dos segmentos de rua percorridos. Essa quantidade deve ser multiplicada pela quantidade de socorristas na simulação. Por fim, esse valor deve ser comparado com o total de segmentos da área simulada.

Se esse valor for superior a 1 (chamado nesse trabalho de coeficiente de deslocamento), é um indicativo que o cenário em estudo tem potencial para diminuir o tempo necessário para atendimento das vítimas, pois os socorristas percorreram, em conjunto, uma quantidade de segmentos superior à quantidade total da área. Portanto, há redundância de percursos. Isso abre possibilidade de estudos para identificar novos modelos e mecanismos de troca de mensagens e de deslocamento, para reduzir o tempo da simulação.

Um exemplo do uso dessa análise encontra-se nos valores da Tabela 6.10, para os casos de teste 74 ao 82.

Tabela 6.10: Estimativa da eficiência do deslocamento dos socorristas.

<i>String</i>	<i>Mobilidade</i>	<i>Socor.</i>	<i>Atend. Médio</i>	<i>RL – Quadras Percorridas</i>	<i>Quadras Totais</i>	<i>Coefficiente de Deslocamento</i>
074	RWP Adaptado	2	3677,26	208	480	0,43
075	Busca por Rua	2	2290,73	126	480	0,26
076	Busca Direta	2	719,93	33	480	0,07
077	RWP Adaptado	4	3070,33	345	480	0,72
078	Busca por Rua	4	2126,43	233	480	0,48
079	Busca Direta	4	719,63	66	480	0,14
080	RWP Adaptado	8	2247,40	494	480	1,03
081	Busca por Rua	8	1921,46	417	480	0,87
082	Busca Direta	8	720,86	133	480	0,27

Esses coeficientes são indicativos de má utilização de recursos, nesse caso, de socorristas na simulação. Um coeficiente acima de 1 poderia indicar uma necessidade de diminuir socorristas, ou de aperfeiçoar o modelo de mobilidade. Dessa forma a observação desse coeficiente pode orientar no dimensionamento mais apropriado dessas variáveis.

É pertinente pensar que quanto mais socorristas para atender uma região, melhor seria. Porém, acima de um determinado valor, muitos desses socorristas poderiam estar subutilizados, não encontrando vítimas para atender, apresentando muitas mudanças de rotas ao iniciar e cancelar atendimentos, devido a competição por atendimentos com outros socorristas. Dessa forma, não sobrecarregar uma região com muitos socorristas, pode ser benéfico para diminuição de mudanças e cancelamentos de atendimentos. Assim permitiria uma dinâmica de atendimento mais fluída, além de que estes recursos (socorristas) poderiam ser redistribuídos em outras regiões. Por exemplo, em um cenário onde uma grande região tenha sido fragmentada em equipes distintas para atendimento.

Portanto, é necessário considerar criteriosamente os recursos utilizados. Inclusive, esse coeficiente pode ser um indicativo inicial nesse sentido. É necessário ressaltar que esse coeficiente abaixo de 1 não quer dizer que não haja redundância de segmentos percorridos, e nem que um coeficiente acima de 1 quer dizer que todos os segmentos tenham sido percorridos. É um indicativo médio de percurso na região. Futuramente, pode-se realizar uma análise mais aprofundada a fim de estabelecer um limite para esse coeficiente, que indique o valor máximo recomendado para uma simulação, possivelmente relacionado com

outras variáveis da simulação. Variáveis candidatas a serem analisadas em conjunto com esse coeficiente são a quantidade de vítimas e mudanças de atendimento realizadas.

Nesta seção foram analisados diferentes modelos dos socorristas, mas em relação a apenas um modelo dos cidadãos: o RWP Adapted. Outro modelo desenvolvido foi o de Evacuação. Contudo, apesar da proposta interessante de representar a evacuação dos cidadãos de uma região, este modelo se mostrou de pouca praticidade para as simulações.

O modelo de evacuação apresenta eficiência para disseminação da mensagem em alguns casos. Primeiro, é necessário haver um cidadão na rua da vítima, ou que a vítima esteja na rota de evacuação seguida pelos cidadãos. Segundo, o socorrista precisa estar em uma rua vertical para estabelecer conexão com os cidadãos que estão no caminho da evacuação. Caso contrário, a mensagem não será trocada e o tempo da simulação será próximo ao máximo, dependendo do socorrista encontrar a vítima diretamente. Logo, a probabilidade de haver a troca de mensagens seria de cerca de 50% (somente nas ruas verticais). De maneira mais restrita ainda: nas ruas verticais próximas da quadra vítima, o que diminuiria essa probabilidade para cerca de 25% (considerando que os cidadãos se locomoveriam horizontalmente no máximo ao centro da área, para então se dirigirem em direção sul).

Contudo, se a mensagem for entregue ao socorrista, este a receberia relativamente cedo no tempo da simulação, alcançando um tempo de atendimento muito baixo, mais próximo ao ideal do que do modelo de Busca por Rua.

6.7 Bluetooth e Wi-Fi

Nesta seção, analisa-se a melhor seleção de meio de transmissão para a propagação das mensagens pela rede. São testadas 8 configurações, variando a seleção de sinal entre Bluetooth, Wi-Fi e ambos, e em clima seco e chuvoso, conforme dados apresentados nos apêndices D e E.

A utilização de ambos os sinais pode ser com a opção de medição alternada, realizando o escaneamento Bluetooth após o escaneamento Wi-Fi, ou com a opção de medição paralela, com ambos sinais funcionando simultaneamente. As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras com 1 cidadão por quadra. São utilizados 4 socorristas. É alocado uma única vítima na última rua horizontal, ao centro.

Esse cenário de teste é interessante para comparar os resultados de medições em ambientes secos e úmidos, conforme os apêndices D e E. Geralmente, simulações envolvendo sinais sem fio são calibradas em condições teóricas e ideais. Mas, para esse trabalho, supõe-se que em uma ocorrência de desastre natural, sendo provocado por fenômenos hidrológicos ou meteorológicos, a presença de água no cenário é provável, o que deve causar influência na propagação dos sinais. Portanto, a obtenção de dados em um ambiente chuvoso é interessante e relevante para o trabalho, e isso distingue essa pesquisa de outras com redes *ad hoc* para desastres naturais, pois reflete em um esforço adicional para obter essas informações.

Aponta-se que, em condição chuvosa, haja uma queda no alcance do sinal em relação à condição normal (LUOMALA; HAKALA, 2015), possivelmente devido a reflexão e refração do sinal pelas gotas de água (HIGGINS, 2017). Estima-se que essa condição climática pode reduzir até 5,5 dBm da potência do sinal (WARGO, 2010), diminuindo o alcance do sinal. Contudo, isso não foi o observado pelas medições práticas realizadas. Contraintuitivamente, as medições práticas realizadas sob chuva demonstraram um alcance de sinal superior.

As medições em clima seco e chuvoso foram realizadas em dias seguidos, no mesmo local. Ainda, foram realizadas mais de uma vez, justamente pela surpresa após as primeiras medições. Na segunda vez em que as medições foram repetidas, os dois *smartphones* foram alterados. Mesmo com essa repetição e alteração dos dispositivos, os resultados apontaram para um melhor alcance sob condição chuvosa. Ao final, os dados da última repetição foram mantidos e tabelados nos apêndices D e E.

Essas medições de alcance refletiram no tempo final das simulações. Observa-se na Tabela 6.11 tempos de simulações inferiores sob condição chuvosa, em relação ao clima seco, por serem baseados nos dados obtidos pelas medições. Contudo, apesar da cautela no processo de medições e repetição dos experimentos, os resultados vão na contramão da literatura e do esperado. Pela ausência de mais dados, de uma explicação para esse fenômeno e a fim de diminuir as margens para questionamentos e dúvidas, nas demais simulações foi adotado uma postura mais cautelosa e foram utilizados os dados observados sob clima seco.

Tabela 6.11: Wi-Fi e Bluetooth: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Sinal	Clima	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
088	Wi-Fi	Seco	2272,50	270,62	2709,16	334,21
089	Bluetooth	Seco	3474,66	289,82	3816,96	271,89
090	Ambos Alt.	Seco	3414,61	308,79	3830,31	248,31
091	Ambos Par.	Seco	1808,52	323,11	2306,00	337,94
092	Wi-Fi	Chuva	1688,56	250,44	2143,53	272,99
093	Bluetooth	Chuva	3273,20	222,67	3757,93	238,19
094	Ambos Alt.	Chuva	3302,03	311,27	3781,80	275,01
095	Ambos Par.	Chuva	1370,16	190,32	1848,20	192,52

Em relação à combinação de sinais, observa-se, como esperado, que o uso dos sinais Wi-Fi Direct e Bluetooth simultaneamente influencia para a obtenção de um menor tempo da simulação. Isso é o esperado por oferecer dois meios de comunicação paralelos. Conforme dados discutidos na Seção 6.1, o tempo de proximidade de dois nós, em baixa densidade, tende a ser 22 segundos. Nesse curto período, pode ser que um dos meios esteja ocupado com outras transmissões, ou esteja no mesmo modo de escaneamento ou descoberta de outro nó. Portanto, um meio adicional permite uma nova possibilidade de identificar este nó.

Ainda, conforme o esperado, observa-se que o Wi-Fi possui o segundo melhor resultado em tempo de simulação, e Bluetooth o terceiro, devido a relação proporcional aos seus alcances máximos. Um dado novo a se observar, e isso é uma constatação somente permitida pelas simulações, é que a combinação de escaneamento de Bluetooth seguido pelo Wi-Fi (denominado de “Alternado”) é tão ruim quanto o escaneamento somente pelo Bluetooth. Dessa forma, este pode ser um método descartado, uma vez que o uso de Wi-Fi demanda maior consumo de energia. Portanto, seria mais vantajoso utilizar somente o Bluetooth, se os resultados são equivalentes. Em relação ao consumo de bateria, mesmo utilizando o método com melhor resultado, com uso constante tanto pelo Bluetooth quanto pelo Wi-Fi, este consumo não demonstrou ser uma preocupação, como discutido na Seção 6.2.

Em uma rede composta pela utilização desses dois meios, poderia ser uma estratégia a ser adotada que, quando um *smartphone* alcance um nível baixo de bateria (por exemplo, 20% da

$^\dagger \sigma$ – Propagação.

$^\ddagger \sigma$ – Atendimento.

carga), este desativaria o Wi-Fi e permaneceria com as comunicações somente por Bluetooth. Ele ainda poderia se comunicar por esse meio com os demais dispositivos, e, conforme apresentado na Tabela 6.4, reduziria o ritmo do consumo restante em cerca de 45%. Em contrapartida, como observado na Tabela 6.11, o tempo restante para o atendimento de todas as vítimas poderia ser estendido em mais de 50%, seguindo a proporção apresentada na tabela.

É importante ressaltar a evolução dessas tecnologias de transmissão e a necessidade de constantemente revisão desses valores. Muitas referências mencionam o Bluetooth com alcance de 30 metros ou menos, por serem pesquisas de alguns anos atrás (TARKOMA et al., 2014; PADGETTE et al., 2017). As primeiras medições práticas desse trabalho, realizadas para determinar o alcance de sinal, foram conduzidas com os *smartphones* Motorola X XT1097 (2014) e RAZR D1 XT918 (2013), ambos com Bluetooth 4.0, e apresentaram resultados próximos a esse valor. Contudo, medições mais recentes com novos modelos de *smartphones*, e versões mais recentes do Bluetooth, apresentaram resultados com cerca do dobro desse valor, conforme apontado no Apêndice C.

Além da evolução dessa tecnologia, os últimos anos apresentaram a disseminação do Wi-Fi Direct. Esta não era uma tecnologia comumente explorada em trabalhos de alguns anos atrás, mas recentemente tem sido incluída nos *smartphones* e popularizada por aplicativos de comunicação e transferência de dados, se mostrando assim um meio viável a ser explorado e utilizado em aplicações de redes *ad hoc*. Paralelamente ao Bluetooth, algumas menções teóricas ao Wi-Fi Direct costumam apontar um alcance máximo de 100 metros, mas nas medições práticas constatou-se como esse valor já pode ser superior.

O Wi-Fi Direct demonstra-se em constante evolução e desponta como um candidato para substituir o Bluetooth em determinadas condições, especialmente de interesse em aplicações para desastres naturais. O Wi-Fi Direct apresenta alcance e taxas de transferência superiores às daquelas do Bluetooth, além de melhor propagação entre barreiras, e possui potencial para que novas versões reduzam o consumo de energia. Portanto, é um meio a ser considerado, e até priorizado, em futuros estudos desse tema.

Por fim, embora seja um resultado da simulação presente em todos os casos, com valores variáveis para cada cenário, é interessante apresentar nesta seção as quantidades de conexões Wi-Fi e Bluetooth registradas nessas simulações, por esses sinais serem o tema de discussão desta seção. A Tabela 6.12 apresenta um indicativo da média de quantas conexões possíveis

foram registradas (um nó ao alcance do outro), quantas conexões foram identificadas (um nó enxergou o outro) e quantas conexões foram efetivadas (um nó se comunicou com o outro).

Tabela 6.12: Wi-Fi e Bluetooth: Quantidade de conexões.

<i>String</i>	<i>Sinal</i>	Wi-Fi			Bluetooth		
		Poss.	Ident.	Efet.	Poss.	Ident.	Efet.
088	Wi-Fi	9210	4387	2815	-	-	-
089	Bluetooth	-	-	-	4504	3039	2654
090	Ambos Alt.	8262	1804	1188	4445	860	752
091	Ambos Par.	10985	4972	3912	3992	2336	1808
092	Wi-Fi	6250	3144	2639	-	-	-
093	Bluetooth	-	-	-	4205	2899	2449
094	Ambos Alt.	7960	1623	975	4208	773	684
095	Ambos Par.	7208	4202	2717	3060	1813	1488

A quantidade de conexões nos quatro últimos casos são menores por que os tempos de simulações, em geral, são inferiores. Portanto, há menos interações entre os nós em termos absolutos. Observa-se como a proporção de nós identificados pelo método de sinais alternados é baixa em relação aos demais. Isso se deve a mudança constante entre os dois sinais, diminuindo a possibilidade de identificação dos mesmos. Isso reforça a sugestão já apresentada anteriormente de evitar o uso desse método.

Em relação ao método de sinais simultâneos, ou paralelos, observa-se que a identificação dos nós ocorre entre 50% e 60% dos nós ao alcance. A relação de comunicação e transferência de tabelas, dentre esses nós identificados, é um pouco superior a essa proporção. Assim, observa-se que dentre todos os nós que estiveram dentro do raio de alcance de outros, a efetivação da troca de mensagens ocorre em cerca de 40% a 50% nesses casos. Pode parecer um valor baixo, mas é o esperado para esse tipo de cenário dinâmico. Outras abordagens de comunicação podem ser adotadas visando aumentar esse índice.

6.8 Tempos de Escaneamento

Nesta seção, investiga-se a melhor seleção de tempos de escaneamento para propagação das mensagens. Esses tempos determinam o período em que um dispositivo realizará uma busca por outros; e o período em que ficará em modo descoberto, para que outros nós o encontrem.

São testadas 24 configurações, variando a combinação de sinais e os tempo de escaneamento. Os resultados encontram-se na Tabela 6.13.

Tabela 6.13: Tempos de escaneamentos: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Sinal	Bluetooth	Wi-Fi	Propagação Média	σ^\dagger	Atend. Médio	σ^\ddagger
096	Bluetooth	20	-	3158,03	229,75	3653,86	311,02
097	Bluetooth	40	-	3334,20	204,01	3778,53	331,29
098	Bluetooth	60	-	3665,36	213,74	3945,53	271,92
099	Wi-Fi	-	20	2480,43	386,69	3092,46	418,02
100	Wi-Fi	-	40	2775,53	304,93	3288,26	337,15
101	Wi-Fi	-	60	3152,36	207,27	3713,03	325,25
102	Ambos Alt.	20	20	3069,16	422,05	3478,13	447,56
103	Ambos Alt.	20	40	3362,80	322,13	3813,53	326,93
104	Ambos Alt.	20	60	3485,21	301,44	3849,30	357,61
105	Ambos Alt.	40	20	2907,86	465,50	3360,43	402,96
106	Ambos Alt.	40	40	3257,66	392,81	3753,23	278,97
107	Ambos Alt.	40	60	3337,46	209,67	3801,05	358,19
108	Ambos Alt.	60	20	3581,33	549,59	4007,36	502,07
109	Ambos Alt.	60	40	3689,10	252,16	3964,03	278,50
110	Ambos Alt.	60	60	4119,53	509,71	4536,54	553,94
111	Ambos Par.	20	20	2150,80	320,65	2609,81	362,81
112	Ambos Par.	20	40	2258,03	320,67	2726,66	346,93
113	Ambos Par.	20	60	2509,76	410,94	3031,96	450,55
114	Ambos Par.	40	20	2125,43	374,87	2627,63	369,33
115	Ambos Par.	40	40	2272,16	368,02	2759,76	387,08
116	Ambos Par.	40	60	2606,93	477,65	3216,20	422,88
117	Ambos Par.	60	20	2516,80	404,27	2942,90	420,79
118	Ambos Par.	60	40	2648,31	380,90	3135,60	369,86
119	Ambos Par.	60	60	2776,84	221,62	3206,23	292,40

As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras com 1 cidadão por quadra. São utilizados 4 socorristas. É alocada uma única vítima na última rua horizontal, ao centro. A Tabela 6.13 apresenta os valores de tempo de simulação para diferentes configurações de

$\dagger \sigma$ – Propagação.

$\ddagger \sigma$ – Atendimento.

tempos de escaneamento. É interessante investigar qual a melhor definição de tempo de escaneamento de cada sinal, para aumentar a eficiência de conexão entre os nós e por consequência reduzir o tempo total da simulação.

Alinhados aos resultados e discussões da seção anterior, os tempos de propagação e atendimento mais baixos são registrados com o uso dos sinais Bluetooth e Wi-Fi Direct em escaneamento simultâneo. A partir dessa configuração, investiga-se a melhor definição dos tempos de escaneamento de cada sinal, dentre as possibilidades simuladas.

Foram pré-definidos tempos de 20, 40 e 60 segundos de escaneamento (e por consequência, em modo de descoberta também). Pelos resultados obtidos, observa-se que as melhores configurações são para os menores tempos de escaneamento, quando ao menos um dos sinais apresenta tempo de escaneamento de 20 segundos, e os piores resultados são para os tempos de escaneamento de 60 segundos.

Esses resultados foram obtidos em um momento avançado das simulações. Portanto, algumas pré-configurações são feitas para as demais simulações não considerando os melhores resultados aqui obtidos.

Nesses demais casos, foram utilizados os tempos de escaneamento de 40 segundos, tanto para o Bluetooth quanto para o Wi-Fi Direct. Essa configuração apresenta um resultado mediano, porém mais próximo dos melhores resultados. Essas simulações são justamente para descobrir as melhores configurações para o aplicativo SBDA, e com isso define-se a indicação para uma configuração de tempo de escaneamento de 20 segundos para ambos os sinais.

Uma possível explicação para esse valor está na Tabela 6.2. Percebe-se que o tempo médio que um nó fica ao alcance do outro, em região de baixa densidade, como a empregada nessas simulações, é de cerca de 22,9 segundos. Por isso, um tempo de escaneamento superior a esse valor reduz a possibilidade dos nós se identificarem.

Porém, não deve ser apontado irrestritamente que quanto menor o tempo de escaneamento, mais eficaz será para a comunicação entre os nós. Deve-se ponderar que é necessário haver um período mínimo para os nós poderem se identificar, e transferir as mensagens, de preferência para todos os demais nós de sua fila. Se acabar o período de escaneamento, e ainda haver nós na fila, não haverá troca de mensagens com esses, apenas na próxima descoberta, perdendo assim um pouco da eficiência na comunicação.

Portanto, os resultados dessa seção foram importantes para indicar que a tendência para essa configuração é em manter um valor baixo de tempo de escaneamento, dentro os valores testados. Uma investigação futura pode identificar qual seria o valor mais baixo sugerido para essa configuração.

Um último detalhe a ser considerado é em relação à porcentagem adotada para variar em relação ao tempo de escaneamento escolhido. Esse valor é discutido na Seção 4.6, e para este trabalho foi adotada uma margem de 20%. Por exemplo, para escaneamentos de 40 segundos, esse valor seria definido aleatoriamente entre 32 e 48 segundos. Essa variação é necessária para que nós não mantenham períodos próximos de mudança de modos de escaneamento e descoberta, reduzindo a margem de tempo que teriam para se identificarem. Uma investigação futura também poderia adotar esse valor como uma variável a ser analisada, identificando a melhor porcentagem de margem a serem utilizadas.

6.9 Nós de Composição da Rede

Esta seção avalia a diferença da propagação das mensagens em uma rede formada somente por socorristas ou com a adição dos nós cidadãos. São testadas seis configurações, variando a seleção dos nós constituintes da rede, e a densidade de cidadãos na área, conforme adotado na Seção 6.1. As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras. São utilizados 4 socorristas. São alocadas 9 vítimas na área, conforme arranjo 1 da Figura 6.3.

A Tabela 6.14 apresenta os resultados de tempos de propagação e atendimento considerando redes compostas pelos cidadãos, que é uma sugestão desse trabalho. São apresentados também os resultados de tempos com redes compostas somente pelos socorristas, uma abordagem mais comumente adotada em outros trabalhos com propostas semelhantes.

Percebe-se a grande vantagem na utilização do modelo proposto nesse trabalho. O tempo de atendimento em um modelo composto por todos os nós é menos de 3 vezes o tempo em um modelo composto somente pelos socorristas, em uma região de baixa densidade. Os obstáculos para uma implantação de um modelo como esse, colaborativo com os cidadãos, já foram apresentados neste trabalho no Capítulo 4. Porém, o importante é destacar que os resultados obtidos reforçam a sua utilização. Há uma grande diferença com e sem a participação dos nós cidadãos na rede, um indicativo para defender que, na prática, vale o

esforço necessário das autoridades para empregar essa abordagem, devido ao grande ganho de tempo para identificar e atender as vítimas.

Tabela 6.14: Nós da rede: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Rede	Densidade	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
120	socorristas	baixa	8590,46	1071,60	8625,23	1069,64
121	socorristas	média	8619,16	1064,53	8651,50	1057,77
122	socorristas	alta	8619,96	1020,46	8655,80	1121,67
123	com cidadãos	baixa	2050,10	221,25	2507,50	241,67
124	com cidadãos	média	947,85	81,68	1878,21	269,49
125	com cidadãos	alta	777,12	86,12	1735,96	160,73

Quanto às redes compostas somente pelos socorristas, o tempo de propagação é muito próximo do tempo de atendimento. Isso é um sinal de que a última vítima a ser atendida foi descoberta diretamente pelo socorrista, que se dirigiu à mesma realizando o último atendimento da rede. Mais ainda, pode-se inferir que todos os atendimentos tenham sido realizados a partir da identificação direta das vítimas, uma vez que essa seria a única forma de uma socorrista encontrar uma vítima, já que não estaria recebendo mensagens de outros nós.

Quando o socorrista encerrar o atendimento, voltar à locomoção e identificar outro socorrista, ambos apenas trocariam tabelas de vítimas que já foram atendidas. Logo, o aplicativo SBDA seria de pouco valor para um cenário como esse, que teria a eficiência de atendimento mensurada exclusivamente pelo modelo de mobilidade de busca adotado.

Deve-se procurar tirar vantagem das características dos cenários em estudo. Em uma área urbana e densamente povoada, na qual vários cidadãos possuem *smartphones*, deve-se considerar este recurso a favor do planejamento da atividade de resgate. Os resultados dessa seção corroboram a vantagem dessa abordagem, devendo ser encarados pelas autoridades como um estímulo para superar as dificuldades envolvidas e preparar o ambiente necessário para o suporte dessa rede.

$^\dagger \sigma$ – Propagação.

$^\ddagger \sigma$ – Atendimento.

6.10 Alteração da Vítima

Esta seção analisa a diferença da propagação das mensagens com ou sem a orientação para o socorrista alterar seu deslocamento de atendimento de uma vítima para outra de maior prioridade. São testadas seis configurações, variando a opção do socorrista alterar de vítima e a quantidade de socorristas na área. As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras. Utiliza-se 1 cidadão por quadra e são alocadas 9 vítimas na área, conforme arranjo 1 da Figura 6.3.

A Tabela 6.15 aponta tempos de propagação e atendimento menores para casos em que não há alteração de percurso para atender vítima de maior prioridade. Neste caso, se considerado o resultado final como único parâmetro de referência, pensaria-se em não adotar a mudança de atendimento. Contudo, há uma razão para sua adoção: permitir que vítimas com maior nível de emergência sejam atendidas antes. Esse é um recurso importante na tentativa de estabelecer um ordem de atendimento por criticidade da emergência. Dessa forma, na adoção da alteração de vítima, aumenta-se em menos de 10% o tempo de atendimento, em prol de seguir uma ordem de atendimento priorizando as vítimas mais urgentes. Por isso, esse recurso é adotado nas simulações.

Tabela 6.15: Alteração da vítima: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

<i>String</i>	Alterar	Socorristas	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
126	sim	2	2017,7	228,64	4977,63	336,27
127	sim	4	1574,43	145,50	3439,96	298,90
128	sim	8	1426,83	265,72	2591,03	287,58
129	não	2	1883,63	292,84	4683,16	333,62
130	não	4	1469,80	147,37	3238,63	407,35
131	não	8	1367,56	102,25	2352,30	248,35

Na Tabela 6.16 são apresentadas as ordens de atendimento mais comuns para cada caso de teste desta seção, e a quantidade média de mudanças de vítimas ocorridas. Observa-se como a ordem é mais aleatória quando o recurso de alteração de vítima não está presente, por causa do socorrista atender a primeira vítima que identifica.

$^\dagger \sigma$ – Propagação.

$^\ddagger \sigma$ – Atendimento.

Tabela 6.16: Alteração da Vítima: Mudança e ordem de atendimento.

<i>String</i>	Atendimento	Ordem	Mudança	
	Médio		Ativa	Passiva
126	4977,63	2-1-1-1-2-2-3-3-4	4,6	5,3
127	3439,96	2-1-1-1-2-2-3-3-4	9,7	13,1
128	2591,03	2-1-2-1-1-2-3-3-4	14,5	28,0
129	4683,16	4-2-3-1-1-1-2-2-3	0	4,7
130	3238,63	4-3-3-1-2-1-1-2-2	0	9,6
131	2352,30	2-2-3-4-3-1-1-1-2	0	16,2

Não ocorrem mudanças ativas no modo sem alteração de vítima. Afinal, esse é justamente um indicativo do uso desse recurso: identificar uma vítima com maior prioridade, e alterar proativamente a mudança de atendimento atual para esta.

Percebe-se a quantidade um pouco inferior de mudanças passivas no modo sem alteração de vítima, justamente por não haver mudanças ativas (que gerariam mais mudanças passivas de outros socorristas). Observando os resultados dessa tabela, pode-se estabelecer que o tempo de atendimento aparenta uma maior relação com o número de mudanças passivas, do que com o número de mudanças ativas, ou mesmo do que com a soma de ambos. Isso reforça as discussões sobre essa relação já abordadas na Seção 6.5.

6.11 Prioridade da Mensagem

Nesta seção, avalia-se a configuração de pesos das variáveis que compõem a prioridade da mensagem de emergência e o impacto na propagação das mensagens pela rede. São testadas 9 configurações, alterando-se o peso das variáveis. As simulações ocorrem em uma área de 15×15 quadras com 1 cidadão por quadra. São utilizados 4 socorristas. São alocadas 9 vítimas na área, conforme arranjo 1 da Figura 6.3.

Na Tabela 6.17 são apresentados os tempos de propagação e atendimento para cada configuração de peso das variáveis que compõem a definição de prioridade da vítima. Essas variáveis são a distância do socorrista para a vítima e o nível de emergência dela. Esses valores foram definidos em pesos equivalentes a 5, 10 ou 15, estabelecendo diferentes proporções entre essas variáveis.

Tabela 6.17: Prioridade da mensagem: Tempo de propagação e atendimento (segundos).

String	Distância	Nível	Propagação Média	σ^\dagger	Atendimento Médio	σ^\ddagger
132	10	10	1469,96	275,04	3580,10	280,31
133	0	10	1514,03	165,76	3915,66	273,91
134	10	0	1652,90	186,27	2958,70	344,11
135	10	5	1695,96	219,05	3187,73	285,30
136	5	10	1504,16	194,00	3558,72	288,35
137	15	5	1692,55	116,30	2925,16	216,14
138	5	15	1635,80	275,17	3462,22	220,94
139	15	10	1641,66	233,11	3317,40	207,65
140	10	15	1606,21	220,32	3696,16	363,57

Como já adiantado na Seção 6.5, observa-se que a distância exerce uma influência maior para a redução do tempo de atendimento. Os casos de teste 134, 135, 137 e 139, com pesos de distância superiores, apresentaram os menores tempos. Porém, o resultado final do tempo de atendimento pode não ser o único indicativo que deva ser considerado.

Como discutido na Seção 6.10, indica-se a adoção da alteração de vítima, para mudança de atendimentos para prioridades maiores, buscando manter uma ordem de atendimento que siga o nível de emergência das vítimas. Dessa forma, não se pode descartar essa variável na composição do peso da prioridade, por ser justamente uma proposta do trabalho em torno da qual outros mecanismos se baseiam. Portanto, desconsidera-se a *string* 134, que não inclui o nível de emergência na composição da prioridade.

Dentre as três configurações restantes, sugere-se adotar a representada na *string* 135. Não representa o melhor resultado, que é a da *string* 137, nem o pior resultado, que é da *string* 139. Ao mesmo tempo, de forma oposta, não possui o menor peso da variável nível, como no caso da *string* 137, nem o maior peso, como na *string* 139. Dessa forma, a indicação da *string* 135, com o peso 10 para distância e 5 para o Nível, apresenta uma escolha média. Esses pesos preservam uma relevância para a variável Nível de Emergência, importante para a manutenção de um atendimento seguindo uma ordem de emergência, e ainda com um resultado de tempo de atendimento entre os melhores observados.

$\dagger \sigma$ – Propagação.

$\ddagger \sigma$ – Atendimento.

6.12 Considerações do Capítulo

Este capítulo apresentou os resultados da execução e análise de 140 cenários de teste, agrupados em 11 casos, totalizando a condução de 1400 simulações. Isso representa apenas uma fração de todas as variações de cenários permitidos pelo simulador. Porém, é impraticável a execução de todas as configurações possíveis. Os casos de teste simulados foram selecionados criteriosamente para fornecer resultados de valor para a análise do cenário e da solução proposta, além de servir para orientar para novos testes e trabalhos futuros.

Para exemplificar a dimensão das possibilidades a serem testadas, apenas considerando as variáveis do primeiro grupo de entrada do simulador referente a área e aos cidadãos tem-se: em uma área de 20 quadras de lado, pode ser configurado até 16 000 nós cidadãos, 2 modelos de mobilidade, 19 dimensões de vizinhança, 840 segmentos de rua alagados e mais 840 segmentos de rua com escombros. Isso totaliza 429×10^9 possibilidades de configurações, e é somente para a área de 20 quadras de lado, sem considerar todas as demais variáveis de entrada de outros 5 grupos. Assim, é um desafio identificar as melhores configurações dentre todas as possibilidades apresentadas pelo simulador.

Essa grande quantidade de possibilidades ilustra a dificuldade de conciliar múltiplos casos de teste em um grande cenário em comum de modo a analisar o impacto de cada mudança de uma única variável isoladamente. Dessa forma, apenas se mostra viável a definição de cenários de estudo nos quais algumas variáveis se alteram em conjunto e assumindo apenas alguns valores dentre todos os possíveis na imensidão dessas possibilidades.

Dessa forma, nesse capítulo foram selecionadas variáveis e valores candidatos a serem testados a fim de orientar na definição das simulações e na melhor composição de configuração do aplicativo SBDA. Uma compilação das variáveis e valores discutidos nas seções anteriores encontra-se na Tabela 6.18.

O valor “Recomendado” apresenta a conclusão de cada seção para o melhor valor proposto para a variável. O valor “Adotado” representa o que foi usado nas demais simulações. A coluna de “Influência” indica se o valor adotado é um valor “Positivo”, ou seja, diminui o tempo da simulação em relação ao valor recomendado. Se o valor é “Neutro”, isso indica o valor recomendado ou próximo disso. Se o valor é “Negativo”, representa um acréscimo no tempo da simulação em relação ao uso do valor recomendado.

Tabela 6.18: Relação de variáveis adotadas e recomendadas.

Variável	Valor		Influência
	Recomendado	Adotado	
Variáveis de Ambiente			
Área	20 × 20	15 × 15	Positivo
Densidade	Baixa	Baixa	Neutro
Vizinhança	0	0	Neutro
Clima	Seco	Seco	Neutro
Bateria	> 1200 mAh	2745 mAh – 3470 mAh	Neutro
Alagamentos	Nova Definição	Sem Uso	Neutro
Escombros	Nova Definição	Sem Uso	Neutro
Vítimas	9	9	Neutro
Arranjo de Vítimas	2 ou 6	1	Positivo
Socorristas	4	4	Neutro
Início dos Socorristas	0	0	Neutro
Mobilidade dos Socorristas	Busca por Rua	Busca por Rua	Neutro
Variáveis de Configuração do SBDA			
Sinais	Ambos Simul.	Ambos Simul.	Neutro
Tempo de Escaneamento	20 – 20	40 – 40	Negativo
Composição da Rede	Com Cidadãos	Com Cidadãos	Neutro
Alteração de Vítima	Sim	Sim	Neutro
Peso da Prioridade	10 – 5	10 – 10	Negativo

Algumas dessas variáveis podem apresentar valores que influenciam positivamente no resultado, como o alcance em clima chuvoso, ou negativamente, como os escombros ou alagamentos. Porém, a avaliação de influência dos valores adotados é em relação entre os sugeridos para uso, e não entre todos os valores analisados.

Conforme as discussões neste capítulo, alguns destes valores foram colocados em ressalva para uso, justamente como estes mencionados. Outras variáveis da simulação, não discutidas nesse capítulo e nem apresentadas na tabela, como velocidades de deslocamento e taxas de transmissão, foram colhidas da literatura ou por medições. Portanto, são valores pré-definidos e não estão sujeitos à simulação para identificar valores sugeridos para uso.

Esses resultados orientam a configurações de simulações futuras, e principalmente, indicam a configuração recomendada para as variáveis propostas no aplicativo SBDA. Percebe-se, pela simulações realizadas, que duas dessas variáveis não foram testadas na

maioria das simulações em sua configuração ideal. Portanto, é um indicativo que os resultados, que já apoiam a proposta dessa solução, poderiam ser ainda um pouco melhores.

Os dados obtidos pelas simulações e condensados na recomendação de configuração do SBDA na Tabela 6.18 validam a proposta do aplicativo e concluem este trabalho. As variáveis do aplicativo e abordagens sugeridas demonstraram ser vantajosas, reduzindo o tempo de propagação da mensagem e atendimento da vítima, em relação à não utilização dessas abordagens. Quando o tempo não diminui, é em favor de seguir uma sequência de prioridade de atendimento de vítimas. Mas, como demonstrado, mesmo nesse caso não acarreta em um grande aumento de tempo.

Capítulo 7

Conclusões

Este trabalho apresentou uma nova abordagem para atendimentos de vítimas em pós-desastre natural. Foi proposta uma solução baseada em um aplicativo partilhado pelos cidadãos e socorristas, permitindo a formação de uma rede *ad hoc* para a comunicação e priorização das vítimas.

Por meio de simulações desenvolvidas em uma ferramenta própria, também implementada neste trabalho, foi modelada uma rede para ser analisada sob diversos parâmetros de configuração, e para avaliar a solução proposta, comparando-se a latência na entrega das mensagens das vítimas para os socorristas, e no atendimento da última vítima. A primeira métrica demonstra o cumprimento da necessidade primária: deixar a equipe de resgate ciente de todas as vítimas. A segunda métrica resolve a necessidade secundária: manter a rede em funcionamento, orientando os atendimentos dos socorristas por prioridade das vítimas, até garantir o atendimento de todas.

Não há um valor de tempo de propagação de mensagens ou atendimentos de vítimas para se apresentar como um resultado definitivo. Todos os valores observados servem como comparações dentro de cada caso de estudo apresentado. Os valores de maior interesse obtidos apontam para a configuração ideal da solução proposta: utilizar como meios de comunicação tanto o Bluetooth quanto o Wi-Fi Direct simultaneamente; manter um tempo de escaneamento e descoberta para ambos os sinais em 20 segundos; utilizar os nós cidadãos para compor a rede; permitir a alteração do atendimento para nova vítima; para a composição da prioridade da mensagem, utilizar um peso de 2 para a distância e um peso de 1 para o nível de emergência da vítima.

Essa configuração permite extrair o máximo de desempenho da aplicação proposta, diminuindo a latência das métricas em análise, demonstrando que essa solução é viável no tratamento do problema abordado e vantajosa em relação a outras abordagens. Por exemplo, somente utilizar nós socorristas para compor a rede, ou não fornecer um mecanismo de priorização para vítimas.

Além dos dados da simulação, a ferramenta desenvolvida é um produto deste trabalho que ficará disponível para a comunidade acadêmica que queira implementar suas próprias soluções de aplicações de redes *ad hoc*, baseadas em *smartphones* para atendimentos de vítima de desastres naturais. Dessa forma, essa ferramenta surge como uma possibilidade de *benchmark* para trabalhos dessa área, pela facilidade de manuseio da ferramenta, foco nos objetos de interesse desse estudo e aberta a implementações de novos recursos.

7.1 Trabalhos Futuros

As sugestões de trabalhos futuros baseiam-se no aprofundamento e expansão da solução apresentada e do simulador desenvolvido, destacando-se:

- Solução Proposta:
 - Modelo híbrido: implementar suporte para a rede de telefonia móvel, de forma que a aplicação possa funcionar de forma híbrida, aproveitando-se das vantagens das conexões da rede *ad hoc* e da conectividade que algum nó possa ter com a Internet, em uma área com cobertura parcial ou intermitente com a rede de telefonia móvel. Isso pode permitir acionar os socorristas diretamente, sem ter que aguardar o escoamento da mensagem pela rede *ad hoc*.
 - Novas configurações e flexibilização dos atributos do SBDA: os quatro níveis de emergência definidos podem ser flexibilizados para a equipe de emergência definir com quantos níveis deseja atuar. A margem estabelecida para o tempo de escaneamento e descoberta, atualmente em 20%, também pode ser definida como uma variável de configuração.
 - Rota dos socorristas: Apesar de, na simulação, a rota ser diretamente representada pelo modelo de mobilidade, a orientação que o socorrista recebe para quais direções se locomover é fornecida pelo SBDA. Dessa forma, as rotas

podem ser gerenciadas de forma mais eficiente, i. e., quando um socorrista vai retornar a sua rota, após ter saído para um atendimento, ao invés de retornar diretamente ao ponto que havia parado, a aplicação pode verificar os caminhos que ele já percorreu, evitando segmentos de rua redundantes, recalculando a rota para direcioná-lo para um segmento de rua mais apropriado.

Um passo a mais seria todos os socorristas registrarem os caminhos percorridos, e junto com as tabelas de vítimas, compartilharem os segmentos percorridos, de forma que, dinamicamente, ao longo de toda a simulação, os socorristas fossem recalculando suas rotas para os segmentos de rua restantes, conforme desviam da rota original para realizarem os atendimentos. A eficiência dessa nova abordagem pode ser medida utilizando o coeficiente de deslocamento proposto na Seção 6.6.

- Implementação real: desenvolver o aplicativo conforme a solução apresentada, e conduzir testes práticos para verificação do comportamento da proposta em diferentes *smartphones* em condições reais.
- Simulador:
 - Modelos de mobilidade: aprimorar os modelos de mobilidade dos cidadãos e socorristas para representarem interação com mais elementos interessantes ao cenário de atendimento, tais como a utilização de recursos (itens que o socorrista carrega para fornecer o atendimento, que ao acabarem, faz com que tenha que retornar à base para se reequipar), solicitação e troca desses recursos diretamente entre os socorristas, transporte da vítima quando necessário, presença de veículos leves para rápida locomoção ou extração de vítimas por helicópteros etc. Além disso, outras dinâmicas podem ser representadas, como a remoção de escombros e limpeza da área, e aglomeração de cidadãos provendo ajuda uns aos outros.
 - Geometria da cidade: para aproximar as vias do ambiente simulado àquelas de uma área urbana real, permitindo a criação de mapas mais versáteis.
 - Método de comparação de nós: conforme discutido na Seção 5.2.1, investigar uma implementação mais eficaz para a comparação entre os nós e determinação de quais se encontram no alcance uns dos outros, de forma a agilizar a simulação.

Referências bibliográficas

AL-SADI, A.; AL-THEIABAT, H.; AWAD, F. Smartphone-assisted location identification algorithm for search and rescue services. In: 2017 8th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS). Irbid, Jordan: IEEE, abr. 2017. p. 276–281. DOI: 10.1109/IACS.2017.7921984.

AMAR INFOTECH. **Differences Between Bluetooth 5 vs 4.2**. 2018. Disponível em: <<https://www.amarinfotech.com/differences-comparisons-bluetooth-5-vs-4-2.html>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

AWAN, M. S. K.; NADEEM, A.; AMER, S. DMSim: A virtual environment for managing natural disasters. In: 14TH International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT IoT (HONET-ICT). Irbid: IEEE, out. 2017. p. 26–30. DOI: 10.1109/HONET.2017.8102215.

BANERJEE, D.; DASBIT, S. Reviving communication in post disaster scenario using ZIGBEE/GSM Heterogeneous Network. In: 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). Nova Déli: IEEE, set. 2014. p. 2067–2073. DOI: 10.1109/ICACCI.2014.6968401.

BASU, S.; ROY, S.; DASBIT, S.; BANDYOPADHYAY, S. A Human Mobility Based Knowledge Sharing Approach for Post Disaster Need Assessment Using DTN. In: PROCEEDINGS of the 17th International Conference on Distributed Computing and Networking. Singapore, Singapore: ACM, 2016. (ICDCN '16), 34:1–34:4. ISBN 978-1-4503-4032-8. DOI: 10.1145/2833312.2833461.

BLUETOOTH SIG INC. **About Us**. 2020. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/about-us/>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

BLUETOOTH SIG INC. **CS – Core Specification 4.0**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/specifications/archived-specifications/>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

BLUETOOTH SIG INC. **Traditional Profile Specifications**. 2020. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/specifications/profiles-overview>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

BOUTIN, M. **Random Waypoint mobility model**. 2011. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30939-random-waypoint-mobility-model>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION. **Syria: Internet and mobile communication 'cut off'**. 2012. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/technology-20546302>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **General Physical Activities Defined by Level of Intensity**. EUA, 1999. Disponível em: <https://www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/physical/pdf/PA_Intensity_table_2_1.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

CORIAT, F.; FLADENMULLER, A.; ARANTES, L.; MARIN, O. Crowdsourcing-based architecture for post-disaster geolocation: A comparative performance evaluation. In: 2016 IEEE 15th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA). Cambridge: IEEE, out. 2016. p. 1–9. DOI: 10.1109/NCA.2016.7778583.

COTO, D. **Puerto Rico lures tech developers as hurricane season looms**. 2019. Disponível em: <<https://apnews.com/36ad55904ab6459db6a0521d92490b90>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

DELOITTE. **Global Mobile Consumer Survey 2018**. 2018. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/technology-media-telecommunications/Global-Mobile-Consumer-Survey-2018-Deloitte-Brasil.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

DELOITTE. **Global mobile consumer survey 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/mobile-survey.html>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

DIGIBITES. **AccuBattery**. 2020. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.digibites.accubattery>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

DOCOMO. **Disaster Message Board Service**. 2020. Disponível em: <https://www.nttdocomo.co.jp/english/info/disaster/disaster_board>. Acesso em: 22 jul. 2020.

EDNEY, J.; ARBAUGH, W. A. **Real 802.11 Security: Wi-Fi Protected Access and 802.11I**. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003. ISBN 0321136209.

FACEBOOK. **Recursos para situações de emergência**. 2019. Disponível em: <<https://www.facebook.com/crisisresponse>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

FURTADO, J. et al. **Capacitação Básica em Defesa Civil**. 1. ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2014. v. 1.

GARCETTI, E. **Resilience by Design**. Los Angeles, 2015. Disponível em: <https://d3n8a8pro7vhm.cloudfront.net/mayorofla/pages/16797/attachments/original/1420504740/Resilience_by_Design_Full_Report_Dec_11_FINAL.pdf?1420504740>. Acesso em: 22 jul. 2020.

GILBOY, N.; TANABE, P.; TRAVERS, D.; ROSENAU, A. M. **Emergency Severity Index (ESI): A Triage Tool for Emergency Department**. Rockville, 2012. Disponível em: <<https://www.ahrq.gov/sites/default/files/wysiwyg/professionals/systems/hospital/esi/esihandbk.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

- GITHUB. **SimuladorAdHoc**. 2020. Disponível em: <<https://github.com/R4fa/SimuladorAdHoc>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- GOLDENBERG, S. **Natural disasters displaced more people than war in 2013**. 2014. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/world/2014/sep/17/natural-disasters-refugee-people-war-2013-study>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- GOOGLE. **Wi-Fi Peer-to-Peer**. 2020. Disponível em: <<https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/wifip2p.html>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. **Annual Disaster Statistical Review 2015**. Bruxelas, 2016. Disponível em: <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ADSR_2015.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- HESTER, J. L.; ECHENIQUE, M. **After Hurricane Maria, Puerto Rico's Grid Needs a Complete Overhaul**. 2017. Disponível em: <<https://www.wired.com/story/after-hurricane-maria-puerto-ricos-grid-needs-a-complete-overhaul>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- HIGGINS, P. A. T. **The Radio Frequency Spectrum and Weather, Water, and Climate**. Boston, 2017. Disponível em: <https://www.ametsoc.org/ams/assets/File/Memo_Radio%20Spectrum_04-03-17.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- HONG KONG OBSERVATORY. **Frequency and Total Duration of Display of Tropical Cyclone Warning Signals**. 2018. Disponível em: <https://www.hko.gov.hk/en/informtc/historical_tc/fttcw.htm>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- IBGE. **Panorama - Campinas**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campinas/panorama>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/c62c9d551093e4b8e9d9810a6d3bafff.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- IBM. **Project Owl pilots winning mesh network in Puerto Rico**. 2019. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/code-and-response/deployments/project-owl>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- IO/APPS. **Bluetooth Transfer Any File**. 2020. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.iodroidapps.btbf>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- KAMRUZZAMAN, M.; SARKAR, N. I.; GUTIERREZ, J.; RAY, S. K. A study of IoT-based post-disaster management. In: 2017 International Conference on Information Networking (ICOIN). Da Nang: IEEE, jan. 2017. p. 406–410. DOI: 10.1109/ICOIN.2017.7899468.
- KDDI. **Disaster Message Board Service**. 2020. Disponível em: <<https://www.au.com/english/mobile/anti-disaster/saigai-dengon>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- KITADA, S. et al. DTN Based MANET for Disaster Information Transport by Smart Devices. In: ANAIS do International Conference on Network-Based Information Systems. Taipei, Taiwan: IEEE, set. 2015. p. 26–31. DOI: 10.1109/NBIS.2015.8.

- KRUG, S.; HELBIG, M.; SEITZ, J. Poster: Utilization of Additional Nodes in Hybrid DTN-MANET Scenarios. In: PROCEEDINGS of the 12th Workshop on Challenged Networks. Snowbird, Utah, USA: ACM, 2017. (CHANTS '17), p. 35–37. ISBN 978-1-4503-5144-7. DOI: 10.1145/3124087.3124099.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a internet**. 6a. Londres: Pearson, 2013. ISBN 978-85-430-1443-2.
- LAW, A. M.; KELTON, D. M. **Simulation Modeling and Analysis**. 3rd. Nova Iorque: McGraw-Hill Higher Education, 1999. ISBN 0070592926.
- LIN, W. Y.; HSUEH, K.; PA, P. The Development of Emergency Communication APP Using Ad Hoc Network with IPv6. In: 2015 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP). Adelaide: IEEE, set. 2015. p. 41–44. DOI: 10.1109/IIH-MSP.2015.71.
- LOO, J.; MAURI, J. L.; ORTIZ, J. H. **Mobile Ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends**. 1st. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Inc., 2011. ISBN 1439856508.
- LUOMALA, J.; HAKALA, I. Effects of Temperature and Humidity on Radio Signal Strength in Outdoor Wireless Sensor Networks. **Annals of Computer Science and Information Systems**, v. 5, n. 1, p. 1247–1255, 2015. ISSN 2300-5963. DOI: 10.15439/2015F241.
- MAQBOOL, B. B.; PEER, M. A. Classification of Current Routing Protocols for Ad Hoc Networks - A Review. *Foundation of Computer Science*, v. 7, n. 8, p. 26–32, out. 2010.
- MATHWORKS. **MATLAB**. 2020. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- MCCOY, W. **Normal Speed for Jogging**. 2019. Disponível em: <<https://www.livestrong.com/article/526358-normal-speed-for-jogging>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- MERKADIA SOLUÇÕES DIGITAIS. **Defesa Civil de Itajaí**. 2020. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.merkadia.defesacivil>>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- MINAMI, Y. et al. Delay- and Disruption-Tolerant Bluetooth MANET-Based Dual-Purpose Systems for Normal and Disaster Situations. In: ANAIS do International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing. Bali, Indonesia: IEEE, dez. 2014. p. 615–619. DOI: 10.1109/UIC-ATC-ScalCom.2014.34.
- MITRE. **SOFTWARE LICENSE AGREEMENT FOR SMART PHONE AD-HOC NETWORKING SOFTWARE**. 2014. Disponível em: <https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/SPAN%20packet_0.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.
- MURTHY, C. S. R.; MANOJ, B. S. **Ad Hoc Wireless Networks**. New Jersey: Prentice Hall, 2004. ISBN 978-0131470231.
- NELSON, S. C.; HARRIS III, A. F.; KRAVETS, R. Event-driven, Role-based Mobility in Disaster Recovery Networks. In: ANAIS do ACM Workshop on Challenged Networks. Montreal,

Quebec, Canada: ACM, 2007. (CHANTS '07), p. 27–34. ISBN 978-1-59593-737-7. DOI: 10.1145/1287791.1287798.

NS-3. **ns-3 Network Simulator**. 2020. Disponível em: <<https://www.nsnam.org>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

OMNET++. **OMNeT++ Discrete Event Simulator**. 2020. Disponível em: <<https://www.omnetpp.org>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

OPENGARDEN. **FIRECHAT**. 2019. Disponível em: <<https://www.opengarden.com/firechat>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

ORACLE. **Java**. 2020. Disponível em: <https://www.java.com/pt_BR>. Acesso em: 22 jul. 2020.

PADGETTE, J. et al. **Guide to Bluetooth Security**. Gaithersburg: National Institute of Standards e Technology, 2017. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-121r2.

PILAR SALAMANCA, M. del; CAMARGO, J. A survey on IEEE 802.11-based MANETs and DTNs for survivor communication in disaster scenarios. In: 2016 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC). Seattle: IEEE, out. 2016. p. 197–204. DOI: 10.1109/GHTC.2016.7857280.

PRAMANIK, A. et al. Simulative study of random waypoint mobility model for mobile ad hoc networks. In: 2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT). Thuckalay, India: IEEE, abr. 2015. p. 112–116. DOI: 10.1109/GCCT.2015.7342634.

PRASAD, M. D. S. S.; UMAR, S.; PADMAJA, K. J. Classification of Routing Protocols in Wireless Ad hoc Networks. **International Journal of Computer Science Engineering & Technology (IJCSET)**, India, v. 3, n. 11, p. 402–407, nov. 2013. ISSN 2231-0711.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Lote com área máxima é uma das inovações propostas pela Prefeitura para o novo Zoneamento de São Paulo**. 2014. Disponível em: <<https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/noticias/lote-com-area-maxima-e-uma-das-inovacoes-propostas-pela-prefeitura-para-o-novo-zoneamento-de-sao-paulo>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

PUNCHTHROUGH. **Data Length Extension (DLE)**. 2019. Disponível em: <<https://punchthrough.com/maximizing-ble-throughput-part-3-data-length-extension-dle-2>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

RF WIRELESS WORLD. **Bluetooth Protocol stack/layers**. 2012. Disponível em: <<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Bluetooth-protocol-stack.html>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

ROCKWELL AUTOMATION. **Arena Simulation Software**. 2020. Disponível em: <<https://www.arenasimulation.com>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

ROSER, M.; RITCHIE, H. **Natural Catastrophes**. 2018. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/natural-catastrophes>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

ROY, R. R. **Handbook of Mobile Ad Hoc Networks for Mobility Models**. 1st. New York: Springer-Verlag New York, Inc., 2010. ISBN 1441960481.

SCHIMPL, M. et al. Association between Walking Speed and Age in Healthy, Free-Living Individuals Using Mobile Accelerometry—A Cross-Sectional Study. **PLOS ONE**, Public Library of Science, v. 6, n. 8, p. 1–7, ago. 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0023299.

SCHOLLMEIER, R.; GRUBER, I.; FINKENZELLER, M. Routing in Mobile Ad-hoc and Peer-to-Peer Networks A Comparison. In: **WEB Engineering and Peer-to-Peer Computing. NETWORKING 2002**. Berlin: Springer, 2002. ISBN 978-3-540-44177-9. DOI: 10.1007/3-540-45745-3_16.

SHALUF, I. M.; AHMADUN, F.-R.; SHARIFF, A. R. Technological disaster factors. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 16, n. 6, p. 513–521, 2003. ISSN 0950-4230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2003.08.002>.

SHAREIT TECHNOLOGIES. **SHAREit**. 2020. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lenovo.anyshare.gps>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

STAT COUNTER. **Internet Usage Worldwide**. 2016. Disponível em: <<http://gs.statcounter.com/press/mobile-and-tablet-internet-usage-exceeds-desktop-for-first-time-worldwide>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

STUTE, M.; MAASS, M.; SCHONS, T.; HOLLICK, M. Reverse Engineering Human Mobility in Large-scale Natural Disasters. In: **ANAIS do ACM International Conference on Modelling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems**. Miami, Florida, USA: ACM, 2017. (MSWiM '17), p. 219–226. ISBN 978-1-4503-5162-1. DOI: 10.1145/3127540.3127542.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. **Redes de Computadores**. 5a. Londres: Pearson, 2011. ISBN 978-85-7605-924-0.

TARKOMA, S.; SIEKKINEN, M.; LAGERSPETZ, E.; XIAO, Y. **Smartphone Energy Consumption: Modeling and Optimization**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2014. DOI: 10.1017/CBO9781107326279.

TELECO. **4ª Geração de Celular no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/4g_cobertura.asp>. Acesso em: 22 jul. 2020.

THE PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. **EARLY WARNINGS FOR NATURAL DISASTERS**. Londres, 2005. Disponível em: <<http://www.parliament.uk/documents/post/postpn239.pdf>>.

TORRES, R. et al. A management Ad Hoc networks model for rescue and emergency scenarios. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 10, p. 9554–9563, 2012. ISSN 0957-4174. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.097.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Earthquake Probabilities in the San Francisco Bay Region: 2000 to 2030 — A Summary of Findings**. Los Angeles, 1999. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/of/1999/0517/pdf/of99-517.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

UNDRR. **Basic Country Statistics and Indicators**. 2014. Disponível em: <<https://www.preventionweb.net/countries/bra/data>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

UNDRR. **United Nations Office for Disaster Risk Reduction**. 2020. Disponível em: <<https://www.undrr.org/>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

VERMA, H.; CHAUHAN, N. MANET based emergency communication system for natural disasters. In: INTERNATIONAL Conference on Computing, Communication Automation. Noida: IEEE, mai. 2015. p. 480–485. DOI: 10.1109/CCAA.2015.7148424.

WANG, C.; LIU, J.; KUANG, J. Performance Analysis on Direct Transmission Scheme under RWP Mobility Model in DTMSNs. In: 2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan, China: IEEE, set. 2011. p. 1–4. DOI: 10.1109/wicom.2011.6040413.

WARGO, J. **Does Weather Effect Wireless?** 2010. Disponível em: <<http://www.aowireless.com/blog/bid/34066/Does-Weather-Effect-Wireless-The-5-Misconceptions-Part-1>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WE ARE SOCIAL. **Digital 2019: Global Internet Use Accelerates**. 2019. Disponível em: <<https://wearesocial.com/blog/2019/01/digital-2019-global-internet-use-accelerates>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WENDEL, J. **Hurricanes Expose Vulnerabilities in Puerto Rico Seismic Network**. 2017. Disponível em: <<https://eos.org/articles/hurricanes-expose-vulnerabilities-in-puerto-rico-seismic-network>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WIFI ALLIANCE. **How far does a Wi-Fi Direct connection travel?** 2018. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/knowledge-center/faq/how-far-does-a-wi-fi-direct-connection-travel>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WIFI ALLIANCE. **Who We Are**. 2018. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/who-we-are>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WIFI ALLIANCE. **Wi-Fi CERTIFIED Wi-Fi Direct**. Austin, 2014. Disponível em: <https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/wp_Wi-Fi_CERTIFIED_Wi-Fi_Direct_Industry_20140922_0.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WIFI ALLIANCE. **Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification**. Austin, 2016. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/Wi-Fi%20P2P%20Technical%20Specification%20v1.7.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

WITESTLAB. **Understanding the 802.11**. 2017. Disponível em: <<https://witestlab.poly.edu/blog/802-11-wireless-lan-2>>. Acesso em: 22 jul. 2020.

YANG, X.; SUN, Z.; MIAO, Y.; CRUICKSHANK, H. QoS Routing for MANET and Satellite Hybrid Network to Support Disaster Relives and Management. In: 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring). Nanjing: IEEE, mai. 2016. p. 1–5. DOI: 10.1109/VTCSpring.2016.7504438.

Apêndice A

COBRADE

A Figura A.1 apresenta uma seleção da tabela da COBRADE com os desastres naturais mais relevantes para este trabalho.

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
1. Geológico	1. Terremoto	1. Tremor de terra	0	Vibrações do terreno que provocam oscilações verticais e horizontais na superfície da Terra (ondas sísmicas). Pode ser natural (tectônica) ou induzido (explosões, injeção profunda de líquidos e gás, extração de fluidos, alívio de carga de minas, enchimento de lagos artificiais).	1.1.1.1.0	
		2. Tsunami	0	Série de ondas geradas por deslocamento de um grande volume de água causado geralmente por terremotos, erupções vulcânicas ou movimentos de massa.	1.1.1.2.0	
	3. Movimento de Massa	2. Deslizamentos	1. Deslizamentos de solo e/ou rocha	São movimentos rápidos de solo ou rocha, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais desses movimentos são a presença de fissuras.	1.1.3.2.1	
		3. Corridas de massa	1. Solo/Lama	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, o solo/lama, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.1	
			2. Rocha/ Detrito	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, rocha/detrito, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.2	
2. Hidrológico	1. Inundações	0	0	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	1.2.1.0.0	
	2. Enxurradas	0	0	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	1.2.2.0.0	
3. Meteorológico	1. Sistemas de grande escala/Escala regional	1. Ciclones	1. Ventos costeiros (mobilidade de dunas)	Intensificação dos ventos nas regiões litorâneas, movimentando dunas de areia sobre construções na orla.	1.3.1.1.1	
			2. Marés de tempestade (ressaca)	São ondas violentas que geram uma maior agitação do mar próximo à praia. Ocorrem quando rajadas fortes de vento fazem subir o nível do oceano em mar aberto e essa intensificação das correntes marítimas carrega uma enorme quantidade de água em direção ao litoral. Em consequência, as praias inundam, as ondas se tornam maiores e a orla pode ser devastada alagando ruas e destruindo edificações.	1.3.1.1.2	
	2. Tempestades	1. Tempestade local/Convectiva	1. Tornados	Coluna de ar que gira de forma violenta e muito perigosa, estando em contato com a terra e a base de uma nuvem de grande desenvolvimento vertical. Essa coluna de ar pode percorrer vários quilômetros e deixa um rastro de destruição pelo caminho percorrido.	1.3.2.1.1	

Figura A.1: Desastres naturais catalogados na COBRADE.

Apêndice B

Janelas do Simulador

A Figura B.1 apresenta a janela de configuração das variáveis de entrada da simulação. Cada variável é discutida na Seção 5.1.

A Figura B.2 apresenta a janela de simulação. Cada componente é discutido na Seção 5.2.

A Figura B.3 apresenta a janela de resultados das variáveis de saída da simulação. Cada variável é discutida na Seção 5.3.

Configuração
Visualização
Resultados

Cenário e Cidades

Tamanho da Área: quadras de lado

Número de Cidades: cidades

Densidade: cidadãos/km²

Modelo de Mobilidade: **RWP Adaptado**

Vizinhanças: quadras

Alargamentos:

Racombros:

Tempo de Início: Min: Max: segundos

Velocidade de Deslocamento

Condição Normal: Min: Max: m/s

Em alagamento: Min: Max: m/s

Socorrista em Busca: Min: Max: m/s

Socorrista em Atendimento: Min: Max: m/s

Socorristas e Vítimas

Número de Socorristas: socorristas

Modelo de Mobilidade: **Busca por Rua**

Posicionamento das Vítimas:

Tempo de Atendimento - Nível 1: Min: Max: segundos

Tempo de Atendimento - Nível 2: Min: Max: segundos

Tempo de Atendimento - Nível 3: Min: Max: segundos

Tempo de Atendimento - Nível 4: Min: Max: segundos

Tempo de Início: Min: Max: segundos

SBDPA (Smartphone Based Disaster Application)

Capacidade de Carga da Bateria: Min: Max: mAh

Carga Inicial: Min: Max: % da capacidade

Consumo durante transmissão Bluetooth: Min: Max: mAh/min

Consumo durante escaneamento Bluetooth: Min: Max: mAh/min

Consumo durante descoberta Bluetooth: Min: Max: mAh/min

Consumo durante transmissão Wi-Fi Direct: Min: Max: mAh/min

Consumo durante escaneamento Wi-Fi Direct: Min: Max: mAh/min

Consumo durante descoberta Wi-Fi Direct: Min: Max: mAh/min

Consumo durante uso mediano do smartphone: Min: Max: mAh/min

Sinais Bluetooth e Wi-Fi Direct

Bluetooth

Tempo de conexão: Min: Med: Max: segundos

Velocidade de transmissão: Min: Med: Max: MB/s

Alcance máximo: metros

Wi-Fi Direct

Tempo de conexão: Min: Med: Max: segundos

Velocidade de transmissão: Min: Med: Max: MB/s

Alcance máximo: metros

SBDPA (Smartphone Based Disaster Application)

Sinal de Recuperação:

Bluetooth - Tempo de fase: Recuperação: Descoberta: segundos

Wi-Fi - Tempo de fase: Recuperação: Descoberta: segundos

Sinais Múltiplos: **Simulâneo**

Nas da Rede: **Socorristas e Cidadãos**

Alteração de Vítimas: **Sim**

Prioridade da Mensagem de Emergência: Nível: Distância:

Carregar
 Confirmar

Figura B.1: Janela de configuração.

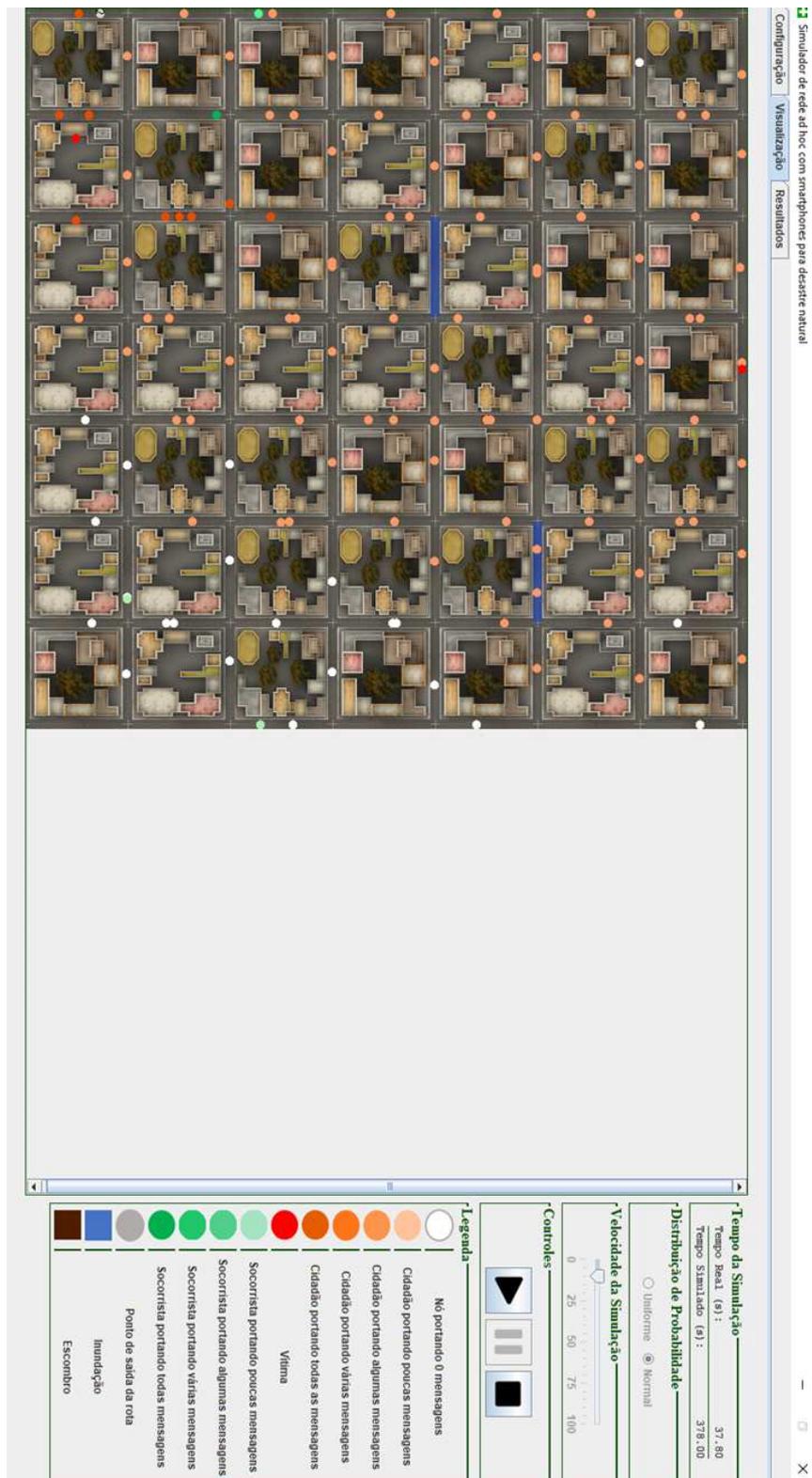


Figura B.2: Janela de simulação.



Figura B.3: Janela de resultados.

Apêndice C

Metodologia da Medição dos Sinais

Testes de campo foram executados para mensuração dos sinais de Bluetooth e Wi-Fi. Procurou-se estimar, na prática, o raio de alcance e taxa de transferência dos sinais de Wi-Fi e Bluetooth entre dois *smartphones* para ajustar os dados do modelo da simulação. Foram testadas transmissões entre os dispositivos fabricados pela Xiaomi especificados na Tabela C.1:

Tabela C.1: Smartphones usados nos testes.

	Redmi Note 5	Redmi 6A
Ano de Lançamento	2018	2018
Versão do Android	9.0	8.1
Wi-Fi	802.11 a/b/g/n/ac	802.11 b/g/n
Bluetooth	5.0 com A2DP/LE	4.2 com A2DP/LE

Os testes foram realizados em um ambiente externo, em linha de visada de acordo com a Figura C.1, envolvendo os seguintes passos:

- Demarcação no chão das distâncias de medição. Posicionamento do dispositivo receptor na posição inicial (zero).
- Posicionamento do dispositivo transmissor em uma das marcações incrementais. Utilização de um aplicativo para transferência de um arquivo de 1 MB. Registro do tempo de transmissão ou da taxa de transferência média.
- Avanço para a próxima marcação.
- Repetição dos passos 2 e 3, sequencialmente da distância 0 até haver falha de conectividade.



Figura C.1: Local em que foram realizadas as medições.

Foram utilizados os aplicativos SHAREit (SHAREIT TECHNOLOGIES, 2020) para transferência de arquivos por *Wi-Fi Direct*, e BTAF (IO/APPS, 2020) para transferência de arquivos por Bluetooth.

Os testes foram realizados em duas condições climáticas: uma condição *branda*, em uma tarde quente, seca e parcialmente nublada (Figura C.2-(a)) e uma condição *adversa*, em meio à chuva e com presença de vento (Figura C.2-(b)). A distância incremental foi padronizada a cada 5 metros para os testes com Bluetooth, e 10 metros para os testes com *Wi-Fi Direct*. A margem de medição pode variar $\pm 0,5$ metro.



Figura C.2: Condições climáticas testadas.

Os resultados obtidos encontram-se nos Apêndice D e Apêndice E.

Apêndice D

Medições de Sinal Wi-Fi

A Tabela D.1 a seguir apresenta os dados dos testes executados em visada direta para medir o tempo e a taxa de transferência do sinal do Wi-Fi, adotados na simulação conforme mencionado na Seção 5.1.3. Os testes foram realizados com a transferência de um arquivo de 1 048 576 bytes (1 MB).

Tabela D.1: Wi-Fi: Medições de sinal (MB/s).

Distância (m)	Clima Seco				Clima Chuvoso			
	#1	#2	#3	Média	#1	#2	#3	Média
0	3.66	4.28	4.02	3.98	3.82	4.13	4.11	4.02
10	3.88	3.45	3.68	3.67	3.98	4.20	3.75	3.97
20	0.55	1.11	0.94	2.6	3.80	3.57	3.42	3.59
30	1.25	1.05	0.47	0.92	3.24	2.89	3.11	3.08
40	1.05	0.78	0.68	0.83	3.42	3.19	2.86	3.15
50	0.95	0.38	0.37	0.56	2.28	2.81	2.51	2.53
60	0.31	0.35	0.41	0.35	2.10	1.87	1.56	1.84
70	0.90	0.26	0.24	0.46	1.18	1.37	1.45	1.33
80	0.19	0.21	0.18	0.19	0.87	0.59	0.98	0.81
90	0.23	0.19	0.15	0.19	0.68	0.46	0.69	0.61
100	0.16	0.14	0.16	0.15	0.24	0.35	0.29	0.29
110	0.09	0.12	0.14	0.11	0.25	0.28	0.33	0.28
120	0.04	-	-	-	0.31	0.20	0.23	0.24
130	-	-	-	-	0.24	0.18	0.20	0.20
140	-	-	-	-	0.15	0.29	0.18	0.20
150	-	-	-	-	0.47	0.08	-	-

Apêndice E

Medições de Sinal Bluetooth

A Tabela E.1 a seguir apresenta os dados dos testes executados em visada direta para medir o tempo e a taxa de transferência do sinal do Bluetooth, adotados na simulação conforme mencionado na Seção 5.1.3. Os testes foram realizados com a transferência de um arquivo de 1 048 576 bytes (1 MB).

Tabela E.1: Bluetooth: Medições de sinal (MB/s).

Distância (m)	Clima Seco				Clima Chuvoso			
	#1	#2	#3	Média	#1	#2	#3	Média
0	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11
5	0.08	0.12	0.11	0.10	0.12	0.10	0.11	0.11
10	0.09	0.10	0.09	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10
15	0.09	0.10	0.12	0.10	0.10	0.12	0.11	0.11
20	0.11	0.11	0.09	0.10	0.09	0.10	0.11	0.10
25	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10
30	0.06	0.08	0.10	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09
35	0.10	0.10	0.09	0.09	0.11	0.10	0.10	0.10
40	0.06	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09	0.10	0.09
45	0.05	0.11	0.10	0.08	0.09	0.10	0.09	0.09
50	0.09	0.07	0.08	0.08	0.10	0.07	0.08	0,08
55	0.10	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
60	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.08	0.07
65	0.07	0.05	0.04	0.05	0.08	0.08	0.10	0.08
70	0.04	0.03	0.04	0.03	0.09	0.08	0.08	0.08
75	-	-	-	-	0.08	0.09	0.07	0.08
80	-	-	-	-	0.05	0.06	0.05	0.05
85	-	-	-	-	0.04	-	-	-

Apêndice F

Medições com Barreiras

Testes foram conduzidos para verificar a redução do alcance do sinal conforme a transposição de barreiras sólidas. A Figura F.1 representa a área onde os testes foram conduzidos. Os pontos em vermelho representam o local onde os *smartphones* foram posicionados para executar os testes. Três testes principais foram conduzidos: em visada direta, do ponto A2 para os pontos B2, C2 e D2; com barreiras, do ponto A1 para os pontos B1, C1 e D1; e com mais barreiras (transposição ao longo de uma residência), do ponto E para os pontos F, G e H. Do ponto E para o H são cerca de 17 metros com múltiplas barreiras, por isso também foi testado do ponto A2 ao H, que também é cerca de 17 metros, mas em visada direta. Nesse contexto, cada barreira é compreendida como uma parede de alvenaria com cerca de 16 centímetros de espessura.

A Tabela F.1 a seguir apresenta os dados dos testes executados para medir o tempo e a taxa de transferência do sinal do Wi-Fi. Os testes foram realizados com a transferência de um arquivo de 1 048 576 bytes (1MB).

Tabela F.1: Wi-Fi: Medições com barreiras.

Pontos de Medição	Tempo de Transferência (s)	Taxa de Transferência (KB/s)
A1-B1	2.5	391
A1-B1	3.9	258
A1-B1	0.7	1500
A1-B1	1.0	1000
A1-B1	1.3	783
Média	1.3	786
A1-C1	1.2	822
A1-C1	2.7	372
A1-C1	2.7	374
A1-C1	1.0	1000
A1-C1	1.8	547

Continuação da Tabela F.1

Pontos de Medição	Tempo de Transferência (s)	Taxa de Transferência (KB/s)
Média	1.6	623
A1-D1	1.7	559
A1-D1	1.4	690
A1-D1	2.2	447
A1-D1	1.5	657
A1-D1	3.9	252
Média	1.9	521
A2-B2	0.6	1500
A2-B2	0.7	1400
A2-B2	5.6	178
A2-B2	0.9	1100
A2-B2	1.0	1000
Média	1.0	1035
A2-C2	0.8	1200
A2-C2	3.6	272
A2-C2	0.8	1200
A2-C2	1.0	1000
A2-C2	1.1	918
Média	1.1	918
A2-D2	1.6	606
A2-D2	1.1	908
A2-D2	1.5	664
A2-D2	1.0	1000
A2-D2	1.0	1000
Média	1.2	835
E-F	7.5	132
E-F	3.0	327
E-F	2.5	389
E-F	1.2	815
E-F	1.4	690
Média	2.1	470
E-G	14.0	71
E-G	3.0	340
E-G	1.8	533
E-G	4.0	247
E-G	3.2	305
Média	3.3	299
E-H	24.0	42
E-H	N/A	N/A
E-H	8.0	124
E-H	54.0	19
E-H	3.2	311
Média	10.1	99
A2-H	0.6	1500

Continuação da Tabela F.1

Pontos de Medição	Tempo de Transferência (s)	Taxa de Transferência (KB/s)
A2-H	2.4	412
A2-H	1.4	684
A2-H	1.1	880
A2-H	1.9	507
Média	1.2	796

As medições registradas na Tabela F.1 demonstram a influência de barreiras na propagação do sinal. Após somente três barreiras, em uma distância curta (10 metros) em relação ao máximo de alcance do sinal, a taxa de transferência é cerca de 62% comparada à medição em linha de visada (Figura F.2). Isso demonstra o rápido decréscimo da potência de sinal.

Contudo, as medições apontam para uma alta variabilidade da taxa de transferência sob mesmas condições do local. Dessa forma é difícil gerar uma relação fidedigna de decréscimo da taxa de transferência conforme aumento da distância e barreiras entre emissor e receptor.

Além disso, em testes realizados com medições ao longo de toda a residência (pontos E-F-G-H), foi observado como é perdido quase toda a potência de sinal. Dessa forma, o emprego de uma simulação com um modelo de barreiras de sinais para as residências não demonstra ser uma abordagem que acrescente significativo valor ao cenário de simulação deste trabalho.

Não foram realizados testes equivalentes com Bluetooth uma vez que o Wi-Fi apresenta maior capacidade de penetração do sinal e ainda assim demonstrou resultados restritivos. Considerando alguns testes com Bluetooth, entre os pontos E-H, em um deles o tempo de transmissão foi próximo a um minuto; em outros dois ocorreu desconexão durante a transmissão; e em outros não foi possível localizar o receptor.

Sendo assim, com base nesses testes e observações, chegou-se a definição da seguinte abordagem para transmissão de sinais Wi-Fi entre usuários separados por barreiras: Um usuário dentro de uma residência consegue se conectar a outro que passe por uma rua em frente a sua residência. Por Bluetooth esse alcance não será possível.

Os resultados dessas medições também orientaram a definição da abordagem adotada para medição do alcance de sinal entre dois dispositivos, conforme descrito na Seção 5.2.1.

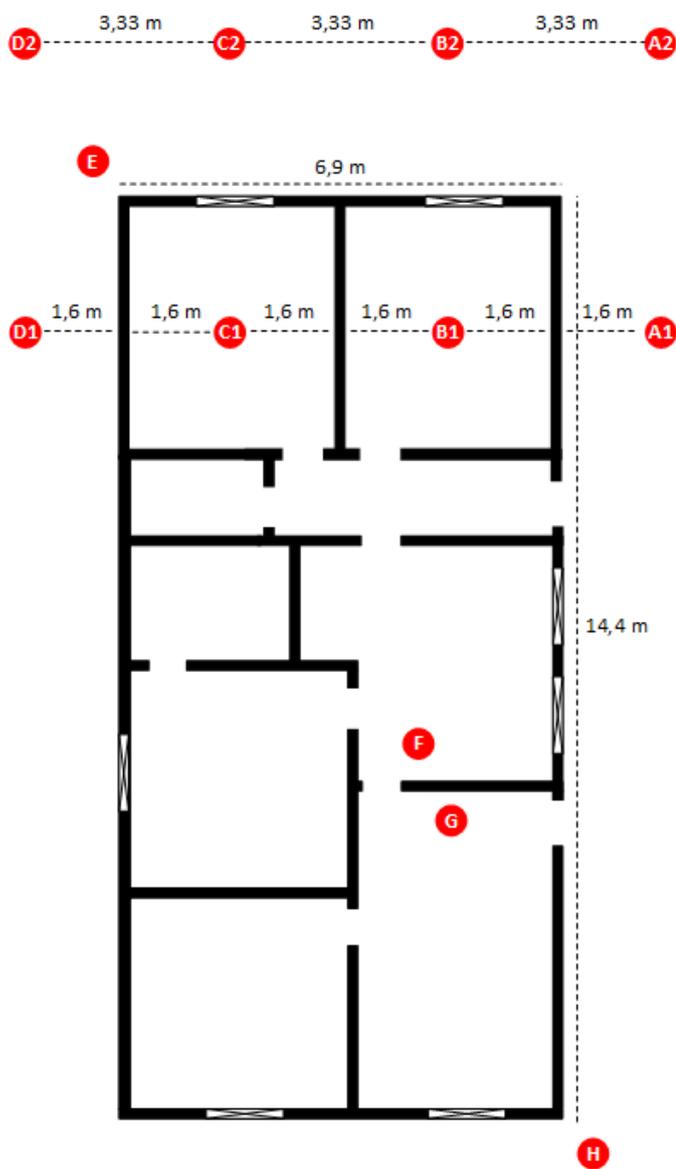


Figura F.1: Planta da área de teste.



Figura F.2: Pontos de teste A2-B2-C2-D2.

Apêndice G

Medições do Tempo de Conexão

Testes foram conduzidos para estimar o tempo para se estabelecer um enlace para comunicação Bluetooth e Wi-Fi Direct. A Tabela G.1 a seguir apresenta o tempo de duração (em segundos) para os dispositivos estabelecerem uma conexão sem fio, ou seja, serem identificados um pelo outro, antes de iniciarem a transmissão. Estes valores são adotados na simulação conforme mencionado na Seção 5.1.3.

O dispositivo Redmi 6A atua como *hotspot* na conexão Wi-Fi, e o Redmi Note 5 como dispositivo descoberto na conexão Bluetooth.

Tabela G.1: Tempo para conexão (segundos).

	Distância (m)	#1	#2	#3	#4	#5	Média
Bluetooth - Mínimo	0	1.1	0.8	1.2	1.4	0.9	1.08
Bluetooth - Médio	35	2.1	1.8	2.1	2.2	1.9	2.02
Bluetooth - Máximo	70	3.1	2.8	2.5	3.2	3.0	2.92
Wi-Fi - Mínimo	0	5.8	4.2	3.8	5.6	4.5	4.78
Wi-Fi - Médio	60	6.2	5.5	6.6	5.8	5.5	5.92
Wi-Fi - Máximo	110	20.2	18.1	15.7	19.3	14.3	17.52

Apêndice H

Medições da Carga da Bateria

Testes foram conduzidos para verificar a duração da bateria em diferentes usos. Os testes ocorreram no período de 1 hora, com os resultados estimados para a duração total da bateria.

A Tabela H.1 apresenta o tempo de duração (em minutos) da bateria dos dispositivos para cada teste executado. Estes valores são adotados na simulação conforme mencionado na Seção 5.1.5. Os testes de transferência foram realizados com o envio contínuo de um arquivo de 1 073 741 824 bytes (1 GB). O nível de brilho da tela é ajustado em 50% do valor máximo.

A capacidade da bateria foi obtida pelo aplicativo AccuBattery (DIGIBITES, 2020), cuja funcionalidade é estimar a capacidade real considerando o desgaste natural que a bateria sofre conforme sua utilização, mensurando o consumo a cada período de descarga e recarga.

Enquanto um teste é conduzido, todos os demais recursos do aparelho são interrompidos (execução de aplicativos em segundo plano e acesso aos dados móveis e rede de telefonia). Na execução do teste de Wi-Fi, o Bluetooth é desativado, e vice-versa. Em ambos testes de sinais a tela é mantida desligada. Em todos os testes o dispositivo começa com 100% da carga.

Tabela H.1: Bateria: Tempo de duração (minutos).

	Redmi Note 5 (3470 mAh)				Redmi 6A (2754 mAh)				mAh/min.
	#1	#2	#3	Média	#1	#2	#3	Média	Média
Bluetooth Escaneando	1494	1384	1283	1387	1164	1309	1288	1253	2,35
Bluetooth Descoberto	1646	1657	1705	1669	1530	1487	1610	1542	1,93
Bluetooth Transferência	2508	2047	2889	2481	1644	1994	2002	1880	1,42
Wi-Fi Escaneando	893	924	896	904	838	873	881	864	0,28
Wi-Fi Descoberto	946	943	956	948	977	962	959	966	0,30
Wi-Fi Transferência	511	573	635	573	673	683	570	642	0,19
Tela acesa – 50%	906	998	947	950	2704	2844	2881	2809	1,65

Apêndice I

Modelo de Mobilidade dos Socorristas

O programa “Algoritmo_Socorristas” presente nesse apêndice gera a indicação do trajeto de todos os socorristas, dado o número de socorristas e o tamanho de área. Algumas representações visuais desses trajetos, indicadas na Figura I.1 e Figura I.2, podem ser convertidas por esse algoritmo para uma descrição textual.

O padrão de movimento 1 corresponde ao socorrista que caminha para leste da região e que inicia as buscas pelas ruas horizontais (de leste a oeste, e retornando). Para a condução de sua lógica, utiliza-se o índice 0 dos vetores de dados e sua movimentação é definida no primeiro caso do *switch-case*. O padrão de movimento 2 corresponde ao socorrista que caminha para oeste da região e que inicia as buscas pelas ruas verticais (de sul a norte). O padrão de movimento 3 corresponde ao socorrista que caminha para oeste da região, e inicia as buscas pelas ruas verticais (de oeste a leste). O padrão de movimento 4 corresponde ao socorrista que caminha para leste da região, e inicia as buscas pelas ruas verticais (de sul a norte). Os socorristas dos padrões 1 e 3, e 2 e 4, se intercalam entre as ruas paralelas em suas buscas.

A execução do programa a seguir ilustra detalhadamente o padrão de movimentação realizado. Parâmetros de entrada são o número de socorristas e a quantidade de quadras ao lado da região. Restrições determinam que o algoritmo deva ser executado para mais de uma quadra e para mais de um socorrista.

```
Algoritmo_Socorristas (int socorristas , int qdr_lado) {

if ( socorristas > qdr_lado * 2) {
    System.out. println ("Limite atingido . Maximo de socorristas eh " +(qdr_lado*2));
} else {
    int direcao = 1;
    int socorrista = 1;
    int qtd = socorristas / 4;
    int resto = socorristas % 4;
    int qtd_socorristas [] = {qtd, qtd, qtd, qtd};
    int cont_socorrista_por_dir [] = {1, 1, 1, 1};
    int proxima_rua[] = {2, 1, 3, qdr_lado + 1};
    int rua_vert_atual ;

    int i = 1;
    while (i <= resto) {
        qtd_socorristas [i - 1] += 1;
        i++;
    }

    while ( socorrista <= socorristas ) {

        switch (direcao) {
            case 1:
                System.out. println ("---Caminho do socorrista " + socorrista + "
                    seguindo padrao 1---");
                System.out. println ("Caminha para direita ate a rua vertical " +
                    (qdr_lado + 1));
                rua_vert_atual = qdr_lado + 1;
                while (proxima_rua[0] <= qdr_lado + 1) {
                    System.out. println ("Caminha para norte ate a rua horizontal " +
                        proxima_rua[0]);
```

```
proxima_rua[0] += qtd_socorristas [0] + qtd_socorristas [2];
if ( rua_vert_atual > 1) {
    System.out.println ("Caminha para esquerda ate a rua
        vertical 1");
    rua_vert_atual = 1;
} else {
    System.out.println ("Caminha para direita ate a rua vertical
        " + (qdr_lado + 1));
    rua_vert_atual = qdr_lado + 1;
}
}
System.out.println ("Caminha para sul ate a rua horizontal 1");
if ( rua_vert_atual > 1) {
    System.out.println ("Caminha para esquerda ate ponto central ");
} else {
    System.out.println ("Caminha para direita ate ponto central ");
}
cont_socorrista_por_dir [0] += 1;
proxima_rua[0] = cont_socorrista_por_dir [0] * 2;
break;
case 2:
    System.out.println ("---Caminho do socorrista " + socorrista + "
        seguindo padrao 2---");
    System.out.println ("Caminha para esquerda ate a rua vertical " +
        proxima_rua[1]);
    rua_vert_atual = proxima_rua[1];
    boolean fim = false ;
    do {
        proxima_rua[1] += qtd_socorristas [1];
        if ( qtd_socorristas [3] > 0 && (qdr_lado % 2) == 0 &&
            proxima_rua[1] > (qdr_lado / 2) + 1 && rua_vert_atual !=
            (qdr_lado / 2) + 1) {
```

```
        proxima_ rua[1] = (qdr_lado / 2) + 1;
    } else if ( qtd_socorristas [3] > 0 && (qdr_lado % 2) == 0 &&
        proxima_ rua[1] > (qdr_lado / 2) + 1 && rua_vert_atual ==
        (qdr_lado / 2) + 1) {
        proxima_ rua[1] = (qdr_lado / 2) + 2;
    } else if ( qtd_socorristas [3] > 0 && (qdr_lado % 2) == 1 &&
        proxima_ rua[1] > (qdr_lado / 2) + 2) {
        proxima_ rua[1] = (qdr_lado / 2) + 2;
    } else if ( qtd_socorristas [3] == 0 && proxima_ rua[1] > qdr_lado
        + 1) {
        proxima_ rua[1] = qdr_lado + 1;
    }
    System.out.println ("Caminha para norte ate a rua horizontal " +
        (qdr_lado + 1));
    System.out.println ("Caminha para direita ate a rua vertical " +
        proxima_ rua[1]);
    rua_vert_atual = proxima_ rua[1];
    System.out.println ("Caminha para sul ate a rua horizontal 1");
    proxima_ rua[1] += qtd_socorristas [1];
    if ( rua_vert_atual == (qdr_lado / 2) + 1 &&
        (( qtd_socorristas [3] > 0 && qdr_lado % 2 == 0) ||
        proxima_ rua[1] > qdr_lado)) {
        System.out.println ("Chegou ao ponto inicial ");
        fim = true;
    } else if ( rua_vert_atual <= (qdr_lado / 2) + 1 &&
        proxima_ rua[1] > (qdr_lado / 2) + 1 && qtd_socorristas [3] >
        0) {
        System.out.println ("Caminha para direita ate o ponto
            inicial ");
        fim = true;
    } else if (( rua_vert_atual > (qdr_lado / 2) + 1 &&
        qtd_socorristas [3] > 0)
```

```
        || (proxima_rua[1] > qdr_lado)) {
    System.out.println ("Caminha para esquerda ate o ponto
        inicial ");
    fim = true;
} else {
    System.out.println ("Caminha para direita ate a rua vertical
        " + proxima_rua[1]);
    rua_vert_atual = proxima_rua[1];
}
} while (!fim);
cont_socorrista_por_dir [1] += 1;
proxima_rua[1] = cont_socorrista_por_dir [1];
break;
case 3:
    System.out.println ("---Caminho do socorrista " + socorrista + "
        seguindo padrao 3---");
    System.out.println ("Caminha para esquerda ate a rua vertical 1");
    rua_vert_atual = 1;
    while (proxima_rua[2] <= qdr_lado + 1) {
        System.out.println ("Caminha para norte ate a rua horizontal " +
            proxima_rua[2]);
        proxima_rua[2] += qtd_socorristas [0] + qtd_socorristas [2];
        if (rua_vert_atual < qdr_lado + 1) {
            System.out.println ("Caminha para direita ate a rua vertical
                " + (qdr_lado + 1));
            rua_vert_atual = qdr_lado + 1;
        } else {
            System.out.println ("Caminha para esquerda ate a rua
                vertical 1");
            rua_vert_atual = 1;
        }
    }
}
```

```
System.out.println ("Caminha para sul ate a rua horizontal 1");
if ( rua_vert_atual > 1) {
    System.out.println ("Caminha para esquerda ate ponto central ");
} else {
    System.out.println ("Caminha para direita ate ponto central ");
}
cont_socorrista_por_dir [2] += 1;
proxima_ rua[2] = cont_socorrista_por_dir [2] * 2 + 1;
break;
case 4:
System.out.println ("---Caminho do socorrista " + socorrista + "
    seguindo padrao 4---");
System.out.println ("Caminha para direita ate a rua vertical " +
    proxima_ rua[3]);
rua_vert_atual = proxima_ rua[3];
fim = false ;
do {
    proxima_ rua[3] -= qtd_socorristas [3];
    if (proxima_ rua[3] < (qdr_lado / 2) + 1 && rua_vert_atual >
        (qdr_lado / 2) + 1) {
        proxima_ rua[3] = (qdr_lado / 2) + 1;
    } else if (proxima_ rua[3] < (qdr_lado / 2) + 1 &&
        rua_vert_atual == (qdr_lado / 2) + 1) {
        proxima_ rua[3] = (qdr_lado / 2);
    }
System.out.println ("Caminha para norte ate a rua horizontal " +
    (qdr_lado + 1));
System.out.println ("Caminha para esquerda ate a rua vertical "
    + proxima_ rua[3]);
rua_vert_atual = proxima_ rua[3];
System.out.println ("Caminha para sul ate a rua horizontal 1");
proxima_ rua[3] -= qtd_socorristas [3];
```

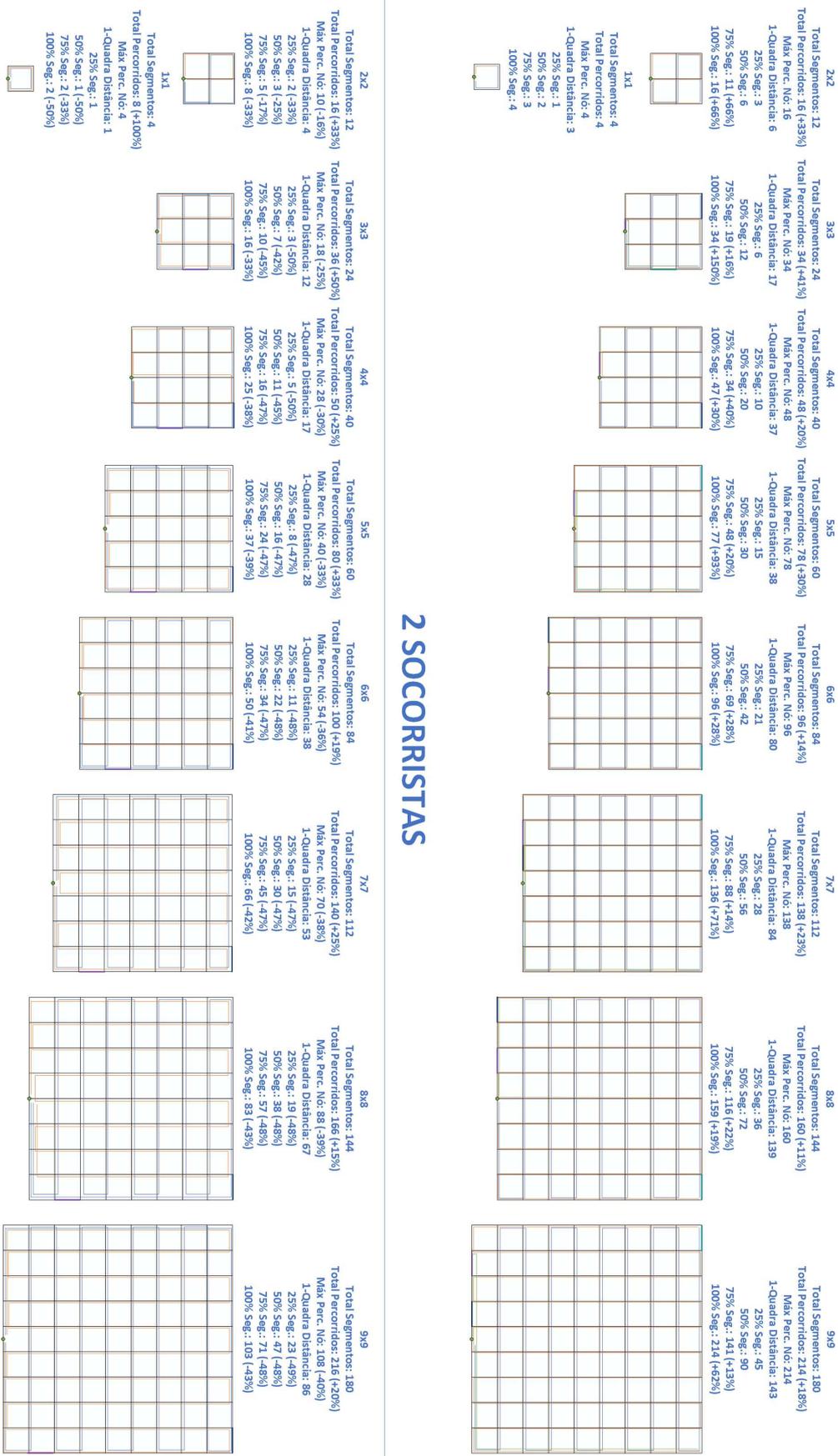
```
        if ( rua_vert_atual == (qdr_lado / 2) + 1 && qdr_lado % 2 == 0) {
            System.out.println ("Chegou ao ponto inicial ");
            fim = true;
        } else if ( rua_vert_atual > (qdr_lado / 2) + 1
            && (proxima_rua[3] <= (qdr_lado / 2) + 1 && qdr_lado %
                2 == 1 || proxima_rua[3] <= (qdr_lado / 2) &&
                qdr_lado % 2 == 0)) {
            System.out.println ("Caminha para esquerda ate o ponto
                inicial ");
            fim = true;
        } else if (( rua_vert_atual <= (qdr_lado / 2) + 1)) {
            System.out.println ("Caminha para direita ate o ponto
                inicial ");
            fim = true;
        } else {
            System.out.println ("Caminha para esquerda ate a rua
                vertical " + proxima_rua[3]);
            rua_vert_atual = proxima_rua[3];
        }
    } while (!fim);
    cont_socorrista_por_dir [3] += 1;
    proxima_rua[3] = qdr_lado + 2 - cont_socorrista_por_dir [3];
    break;
}
socorrista ++;
direcao++;
if ( direcao > 4) {
    direcao = 1;
}
}
}
```

As estatísticas e diagramas neste apêndice representam dados do modelo de mobilidade de busca de vítimas em função da quantidade de socorristas e do tamanho da área. São representadas áreas de 1 até 9 quadras de lado, com 1 a 4 socorristas. Apesar das restrições de variáveis de entrada no simulador, nesses diagramas também são representados padrões de mobilidade com 1 socorrista e 1 quadra somente. As estatísticas relacionadas a esses valores servem como comparação com o acréscimo de mais quadras e mais socorristas.

O círculo em verde representa o ponto inicial dos socorristas. O caminho em azul indica o percorrido pelo primeiro socorrista, em laranja pelo segundo, em verde pelo terceiro e em vermelho pelo quarto. O segmento de rua em azul escuro indica o último em que um socorrista passou perto por uma quadra de distância. O segmento em roxo indica o último que um socorrista percorreu. Em azul claro são segmentos equivalentes aos dois anteriores. Esses segmentos sugerem os pontos mais distantes que uma vítima estaria de um socorrista, e essa informação, juntamente com a observação do padrão ao decorrer do aumento da área, auxilia a estabelecer a localidade das vítimas nos casos de teste.

“Total Segmentos” corresponde ao número de segmentos de rua (lados de uma quadra). “Total Percorrido” é a quantidade de segmentos percorridos por todos os socorristas, sem considerar alterações em suas rotas. “Máx Perc. Nó” é o valor máximo de segmentos percorridos por um só socorrista. “1-Quadra Distância” é a quantidade de movimentos até um único segmento restar sem nenhum socorrista ter passado mais próximo de 1 quadra. “25% Seg.” - assim como as percentagens maiores - corresponde à quantidade de movimentos até 25% de todos os segmentos terem sido percorridos. As porcentagens entre parênteses indicam a redução na quantidade de segmentos de ruas percorridos (pelo movimento simultâneo de vários socorristas) em relação à quantidade equivalente de segmentos na área. Um movimento corresponde a um segmento de rua percorrido por cada socorrista.

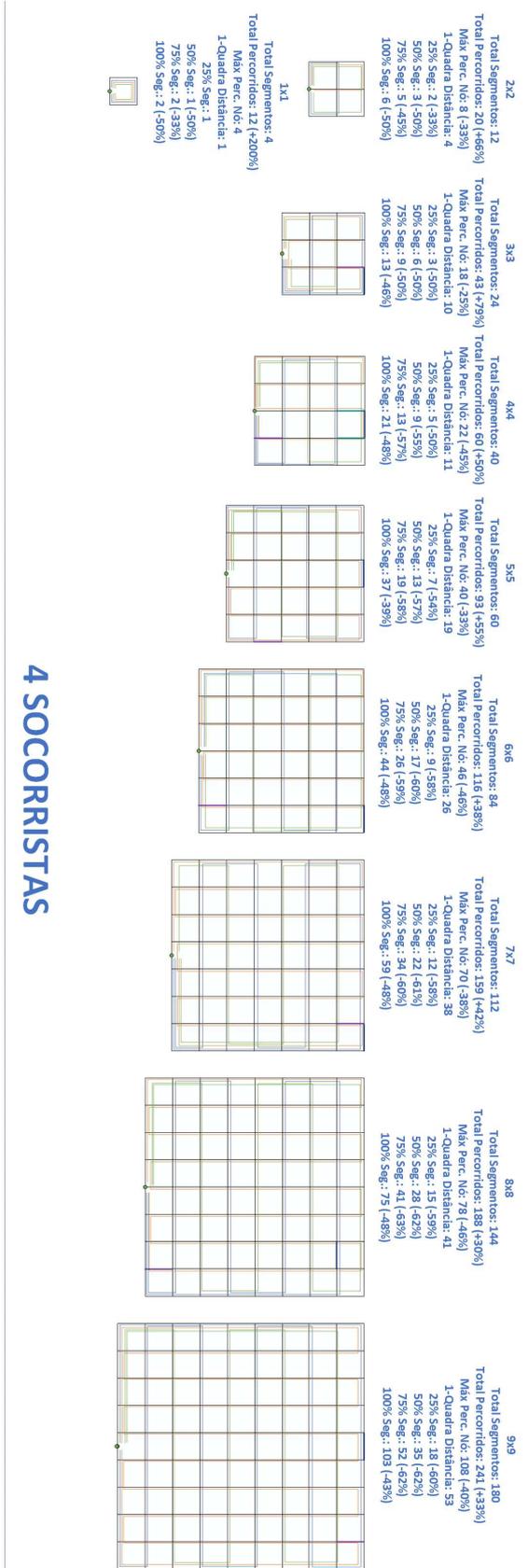
1 SOCORRISTA



2 SOCORRISTAS

Figura I.1: Modelo de mobilidade com 1 e 2 socorristas.

3 SOCORRISTAS



4 SOCORRISTAS

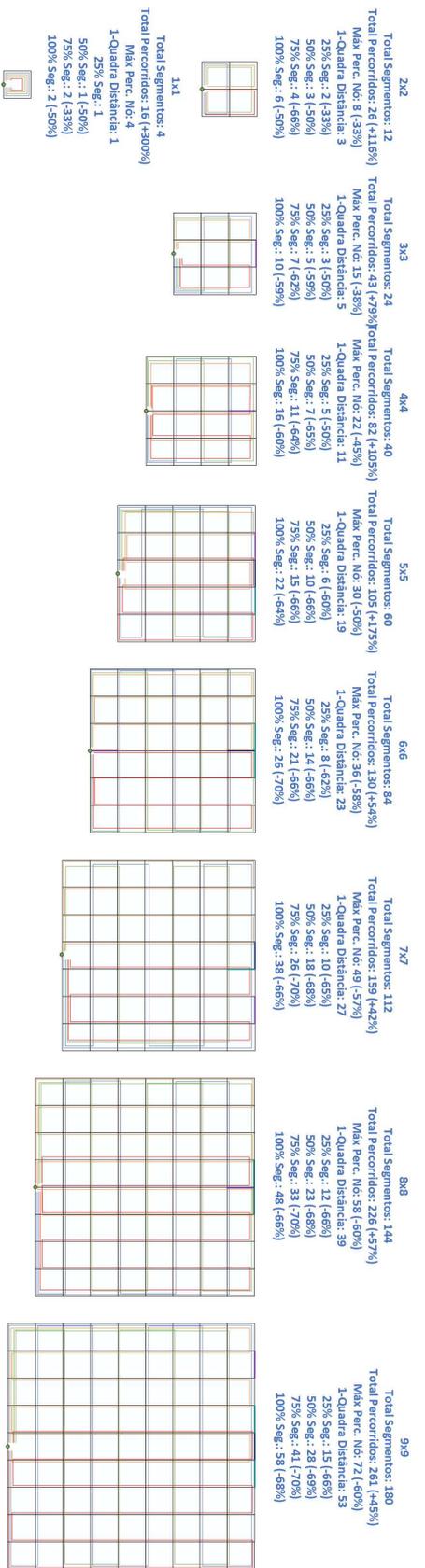


Figura I.2: Modelo de mobilidade com 3 e 4 socorristas.