



MICHEL AUGUSTO SILVA RIBEIRO

**ALGORITMO DE ROTEAMENTO BIO-
INSPIRADO APLICADO AS REDES
EMERGENCIAIS**

LAVRAS – MG

2010

MICHEL AUGUSTO SILVA RIBEIRO

**ALGORITMO DE ROTEAMENTO BIO-INSPIRADO APLICADO AS
REDES EMERGENCIAIS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador
Prof. Dr. Luiz Henrique Andrade Correia

**LAVRAS - MG
2010**

MICHEL AUGUSTO SILVA RIBEIRO

**ALGORITMO DE ROTEAMENTO BIO-INSPIRADO APLICADO AS
REDES EMERGENCIAIS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

APROVADA em ____ de _____ de _____

Dr. João Carlos Giacomini

UFLA

Dr. Tales Heimfarth

UFLA

Prof. Dr. Luiz Henrique Andrade Correia

Orientador

**LAVRAS - MG
2010**

Aos meus pais Sinésio e Leila.

Ao meu irmão Rafael.

A minha namorada Paula.

A todos os meus familiares.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar e dar saúde, durante toda esta caminhada.

Agradeço aos meus pais Sinésio e Leila e meu irmão Rafael pelo amor e carinho que sempre tiveram comigo e pelas palavras confortadoras nos momentos difíceis.

A minha namorada, pelo apoio e compreensão nas horas difíceis, e pela correção de português desta monografia.

Ao professor Luiz Henrique por acreditar em mim e sempre estar disposto a me orientar.

A todos os meus amigos de brejão, em especial, Gustavo, Lucas, Mairo, Helon, Cleiton, Fred e Felipe, que sempre estiveram juntos em todos os momentos.

Agradeço aos meus amigos da computação, em especial a turma 2007/1, que me adotaram como um membro da turma.

Aos meus companheiros de trabalho na Tbit, que ao longo dos últimos meses se mostraram grandes amigos e companheiros.

E por fim mas não menos importante, a toda minha família, que sempre se preocupam comigo.

RESUMO

Em desastres naturais, geralmente a infraestrutura das redes é danificada, por isso é extremamente necessário que redes de comunicação de dados alternativas sejam eficientes entre os envolvidos no desastre a fim de minimizar suas perdas. As redes móveis ad hoc (MANET) são formadas por dispositivos que possuem interfaces de comunicação sem fio, podendo ser PDAs e smartphones. Essas redes móveis em conjunto com dispositivos sem fio utilizados pelas equipes de resgate são chamadas de redes emergenciais. As redes emergenciais possuem mobilidade e proporcionam grandes áreas de cobertura. O objetivo deste trabalho é fazer uma comparação entre algoritmos para redes tolerante a atrasos (DTN). Os algoritmos de roteamento avaliados foram epidêmico, P_{Ro}PHET e o algoritmo bio-inspirado na natureza da colônia de formigas. Dessa forma, puderam ser verificados e analisados esses três algoritmos, e os resultados obtidos mostraram que o algoritmo de colônia de formigas baseado em feromônio é mais eficiente que o epidêmico e o P_{Ro}PHET.

Palavras-chave: MANET, desastres naturais, redes emergenciais, DTN, algoritmo bio-inspirado.

ABSTRACT

In natural disasters, the network infrastructures are often damaged and therefore it is extremely necessary that data communication networks be efficient among those people involved in the disaster in order to minimize their loss. The mobile ad hoc networks (MANET) are formed by devices that have wireless communication interfaces, such as PDAs and smartphones. These mobile networks, along with wireless devices used by rescue teams are called emergency networks. The emergency networks have mobility and offer large coverage area. The goal of this work is to make a comparison between Delay Tolerant Networks (DTN) algorithms. The routing algorithms evaluated were epidemic, PROPHET and the bio-inspired algorithm that comes from the nature of ant colonies. Thus, it could be verified and analysed these three algorithms, and the gotten results showed that the ant colony algorithm based on pheromony is more efficient than both epidemic and PROPHET.

Keywords: MANET, natural disasters, emergency networks, DTN, bio-inspired algorithm.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLO DE UMA MANET (JASPER, 2010).....	15
FIGURA 2 - MODELO DE MOBILIDADE (POERSCH, 2009)	19
FIGURA 3 - ARQUITETURA DTN, CAMADA DE AGREGAÇÃO (OLIVEIRA, 2008).....	24
FIGURA 4 - DISSEMINAÇÃO DE MENSAGENS - EPIDÊMICO (ATANASIO; LI, 2007)	30
FIGURA 5 - ESQUEMA DOS PARÂMETROS DOS ALGORITMOS EPIDÊMICOS (ATANASIO; LI, 2007)	31
FIGURA 6 - OPENJUMP	37
FIGURA 7 - ONE SIMULATOR.....	38
FIGURA 8 - ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO DO ONE (KERÄNEN; OTT,	40
FIGURA 9 – PONTOS DE INTERESSE	45
FIGURA 10 - OVERHEAD – INFLUÊNCIA DO RAIO DE TRANSMISSÃO	48
FIGURA 11 - TAXA DE ENTREGA – INFLUÊNCIA DO RAIO DE TRANSMISSÃO.....	49
FIGURA 12 - OVERHEAD – INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÓS NA REDE.....	50
FIGURA 13 - TAXA DE ENTREGA – INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÓS NA REDE	51
FIGURA 14 - OVERHEAD – INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÓS.....	52
FIGURA 15 - TAXA DE ENTREGA – INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÓS	53
FIGURA 16 - LATÊNCIA – INFLUÊNCIA DO RAIO DE TRANSMISSÃO	55
FIGURA 17 - LATÊNCIA – INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÓS.....	56
FIGURA 18 – INFLUÊNCIA DO <i>BUFFER</i> – <i>OVERHEAD</i>	57
FIGURA 19 – INFLUÊNCIA DO <i>BUFFER</i> – TAXA DE ENTREGA	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ALGORITMOS DE ROTEAMENTO DTN	28
TABELA 2 – PARÂMETROS DOS ALGORITMOS EPIDÊMICO, PROPHET E COLÔNIA DE FORMIGAS	43
TABELA 3 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	44

LISTA DE ABREVIATURAS

AODV	<i>Ad hoc On Demand Distance Vector</i>
ADU	<i>Application data Unit</i>
DSR	<i>Dynamic Source Routing</i>
DTNRG	<i>Delay Tolerant Network Research Group</i>
IRTF	<i>Internet Research Task Force</i>
MANET	<i>Mobile Ad hoc Network</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistants</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
SPMBM	<i>Shortest Path Map Based Movement</i>
VoIP	<i>Voice Over Internet Protocol</i>
WI-FI	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Contextualização e Motivação.....	11
1.2	Objetivos Gerais.....	12
1.3	Objetivos Específicos.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Redes Ad Hoc	13
2.1.1	Aplicações das redes ad hoc móveis (MANETs).....	16
2.2	Redes Emergenciais	17
2.2.1	Trabalhos Relacionados a Redes Emergenciais.....	20
2.3	Redes Tolerantes a Atrasos DTN.....	21
2.3.1	Arquitetura DTN	23
2.3.2	Roteamento em DTN	25
2.3.3	Algoritmo de Roteamento Epidêmico.....	29
2.3.4	Algoritmo de Roteamento PROPHET	32
2.3.5	Algoritmo de Roteamento baseado em colônia de formigas.....	33
2.4	Representação de mapas com OpenJUMP.....	36
2.5	Simulador The ONE	37
2.5.1	Funcionamento e Características	38
3	METODOLOGIA.....	41
3.1	Tipo de Pesquisa	41
3.2	Procedimentos Metodológicos.....	41
3.2.1	Configuração dos parâmetros dos algoritmos epidêmico, PROPHET e colônia de formigas.....	42
3.2.2	Parâmetros de simulação e cenário proposto	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1	Simulação.....	46
4.1.1	Análise do raio de transmissão.....	47
4.1.2	Escalabilidade	50
4.1.3	Latência.....	54
4.1.4	Influência do <i>Buffer</i>	56
5	CONCLUSÃO.....	60
5.1	Trabalhos Futuros	61
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Motivação

Os desastres são eventos que trazem transtornos a sociedade e podem ser originados de várias formas, tanto naturais, humanas ou tecnológicas. Muitos governos locais e federais estão cada vez mais conscientes da importância e dos benefícios das redes emergenciais que podem ser utilizados rapidamente em situações de crise (HINTON; KLEIN; HANER, 2005).

Neste contexto, o que pode se tornar ainda mais caótico para a sociedade é a perda de comunicação, dessa forma se torna um desafio prover comunicação para as equipes e organizações de resgate (MANOJ; BAKER, 2007).

A utilização das redes sem fio é muito importante para a obtenção de resultados em buscas e salvamentos de vítimas do desastre, contudo, quando ocorre um desastre muitas vezes a infraestrutura de rede, tanto com fio como sem fio, é abalada. Então essa comunicação deverá ser feita por equipamentos trazidos pelos agentes, equipes e organização de resgate, formando redes ad hoc móveis (*Mobile Ad hoc NETwork* - MANET). Uma rede ad hoc móvel (MANET) é um conjunto de nós móveis formando redes dinâmicas autônomas e independentes de qualquer infraestrutura. Como os nós são móveis, a topologia da rede pode mudar rapidamente e de forma inesperada a qualquer instante.

Segundo Poersch (2010), o uso de redes ad hoc móveis (MANET) no cenário de desastre traz muitos benefícios a sociedade e as organizações envolvidas no evento, devido as redes ad hoc possuírem uma ampla área de cobertura e mobilidade dos dispositivos, facilitando assim, a comunicação entre os agentes, a fim de obter um resgate mais eficiente.

Existem fatores como, interferência de sinal por meios tecnológicos e ou naturais e capacidade energética dos dispositivos móveis, que atrapalham na transmissão e recepção de mensagens de um destino até a origem, dessa forma

este trabalho busca por meio de simulações, algoritmos que contornem os fatores que limitam uma boa comunicação na rede.

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é simular algoritmos de roteamento para redes DTN para transmissão e recepção de mensagens de dados em cenários reais em que ocasionalmente ocorre algum tipo de desastre, podendo ser de natureza tecnológica, humana ou natural.

1.3 Objetivos Específicos

Espera-se que ao realizar a simulação possa-se analisar o desempenho do algoritmo epidêmico Vahdat e Becker (2000), em comparação com o algoritmo PRoPHET Lindgren, Doria e Scheln (2003), e com o algoritmo de colônia de formigas Di Caro, Ducatelle e Gambardella (2004) os quais são algoritmos para redes tolerante à atrasos (DTN), quanto à taxa de entrega de mensagens ao nó destino, latência, *overhead* de mensagens e a capacidade de *buffer* dos dispositivos, sendo que essas métricas são essenciais em se tratando de um cenário real de emergência.

Para fazer a simulação do algoritmo será utilizado o simulador THE One Keranen e Ott (2007), um simulador para redes DTN.

Por fim este projeto visa encontrar a melhor forma de estabelecer uma conexão entre os envolvidos e encaminhar as mensagens em uma rede ad hoc móvel (MANET) em cenários emergenciais, possibilitando assim a utilização dos resultados em aplicações reais, melhorando a situação das vítimas e dessa forma ajudando as equipes de resgate a efetuarem seu trabalho com informações mais precisas e rápidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo, serão discutidos os assuntos que envolvem as redes emergenciais, dessa forma o primeiro tópico começará com uma introdução as redes móveis ad hoc, e suas aplicações sendo a base para esse trabalho.

O segundo tópico falará sobre as redes emergenciais e alguns trabalhos relacionados a elas e como elas podem melhorar os resgates de vítimas em desastres.

O terceiro tópico será discutido redes tolerantes a atrasos DTN, sua arquitetura, roteamento, algoritmos para redes DTN e os algoritmos utilizados nesse trabalho, algoritmo epidêmico, algoritmo PROPHET e algoritmo baseado em colônia de formigas.

O quarto tópico será apresentado o software utilizado para criação de mapas, e por fim, finalizando o referencial teórico será discorrido sobre o simulador utilizado nesse trabalho.

2.1 Redes Ad Hoc

Ad hoc é uma expressão latina que significa "para o fim específico ou caso em apreço, sem consideração de uma aplicação mais ampla". De acordo com Rosa (2009), em uma rede ad hoc não há uma topologia pré-determinada e nem um controle centralizado. Redes ad hoc não requerem uma infraestrutura tal como um *backbone*, ou pontos de acesso configurados antecipadamente. Os nós se comunicam sem o uso de uma conexão física entre eles. De fato, a troca de informações entre os dispositivos móveis ou portáteis durante a sessão de comunicação, ocorre quando há uma certa proximidade dos demais nós da rede.

Uma rede ad hoc móvel (MANET) como mostrada na Figura 1, é composta por *hosts* móveis que podem se comunicar uns com os outros

utilizando ligações sem fio. Também é possível ter acesso a alguns *hosts* em uma infraestrutura fixa, dependendo do tipo de rede ad hoc móvel disponível. Existem algumas situações nas quais uma rede ad hoc pode ser utilizada, como compartilhamento de informações em uma emergência de socorro e coordenação de esforços depois de um desastre natural como um furacão, terremoto ou inundação, e também utilizada para fins militares, aplicada como afinação tática e outros tipos de informação em um campo de batalha (BOUKERCHE, 2009).

Devido a topologia das redes sem fio, múltiplos saltos (*hops*) podem ser necessários para efetuar a troca de dados entre os nós da rede, denominando a rede com o termo *multi-hop*. Nessa rede, cada nó atua tanto como roteador quanto como um *host*, participando da descoberta e manutenção de rotas para outros nós.

A característica de diferenciação de uma rede ad hoc é que a funcionalidade normalmente atribuída aos componentes da infraestrutura, como pontos de acesso, switches e roteadores, deve ser alcançada mediante a regularização dos nós participantes da rede. Na maioria dos casos, os nós participantes são móveis, não têm uma taxa de entrega garantida, e possuem recursos energéticos limitados.

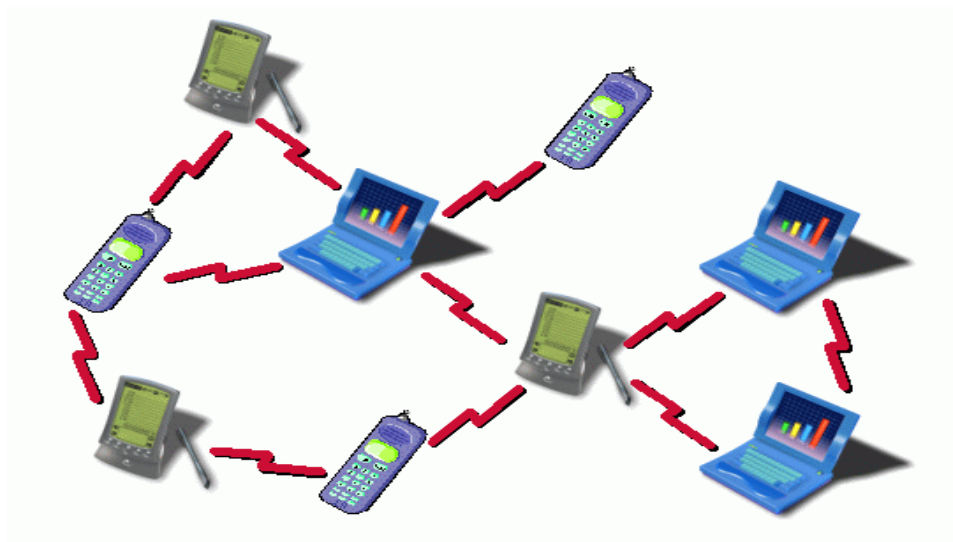


Figura 1 - Exemplo de uma MANET (JASPER, 2010)

Em redes infraestruturadas baseadas em redes sem fio, como celulares ou redes Wi-Fi, a conexão sem fio efetua apenas um salto para o ponto de acesso ou estação base, acontecendo o mesmo no roteamento com fio. Na melhor das hipóteses, a decisão que precisa ser feita é com qual estação base que um nó móvel deve se comunicar, ou como ele deve lidar com a transferência de uma estação para outra durante o movimento.

Em redes ad hoc, é diferente, o encaminhamento se torna uma preocupação importante, porque ele precisa ser tratado por nós comuns que não têm nem equipamento especializado nem uma posição fixa na rede. Assim, com a mobilidade dos nós foi observado que seria um desafio efetuar o encaminhamento das mensagens em um ambiente ad hoc, verificando que essas redes possuem dispositivos com recursos energéticos limitados, heterogeneidade entre os dispositivos usados pelos diferentes órgãos de resgate, e a interferência de sinal causada por obstáculos.

Pensando nesses desafios, pesquisadores elaboraram um grande número de algoritmos de encaminhamento e roteamento ad hoc, permanecendo ativa e dinâmica a evolução nessa área de pesquisa.

Tais algoritmos de roteamento ad hoc móveis estão servindo como uma fonte de idéias e técnicas para as tecnologias relacionadas, tais como redes de sensores sem fio, redes emergenciais e redes mesh. Dessa forma podemos ter muitas aplicações no ambiente de redes ad hoc móveis (MANETs).

2.1.1 Aplicações das redes ad hoc móveis (MANETs)

Segundo Boukerche (2009) as aplicações para as redes ad hoc se subdividem em:

- **Conferência:** é uma das grandes aplicações de MANETS. A criação de uma rede ad hoc é essencial para os usuários móveis quando eles precisam colaborar em um projeto fora de seu ambiente de trabalho, como um escritório.
- **Serviços de Emergência:** responder a situações de emergência, tais como recuperação de desastres é mais um aplicativo que se encaixa no domínio de redes ad hoc. Durante o período de emergência, vários usuários móveis (policiais, bombeiros, defesa civil) com diferentes tipos de dispositivos sem fio precisam não apenas se comunicar entre si, mas também manter a conectividade por longos períodos de tempo.
- **Rede Doméstica:** os computadores sem fio em casa também podem criar uma rede ad hoc, na qual cada nó pode se comunicar com os outros sem ter o seu ponto de acesso fixo. Esta abordagem é alternativa à atribuição de vários endereços IP para cada dispositivo sem fio, a fim de ser identificado.

- **Aplicações em Computação Embarcada:** máquinas oferecem formas flexíveis e eficientes de estabelecer métodos de comunicação com a ajuda de redes ad hoc.
- **Sensoriamento:** esta aplicação pode ser considerada uma combinação de ad hoc e redes de sensores. Em situações em que existe algum tipo de monitoramento, o sensor envia em modo ad hoc informações para os nós vizinhos de forma a chegar à estação base.
- **Interação Automóvel / PC:** a interação entre diversos dispositivos sem fio com os comandos do automóvel pode ser feita utilizando-se rede ad hoc, a fim de realizar tarefas de forma mais eficiente. Um exemplo pode ser encontrar a melhor loja para consertar um problema no carro estando em uma cidade diferente.
- **Personal Area Networks e Bluetooth:** a *Personal Area Network* (PAN), cria uma rede com muitos dos dispositivos que estão ligados ou transportadas por um único usuário. As redes ad hoc devem fornecer soluções flexíveis para as comunicações inter-PAN. Por exemplo, Bluetooth fornece uma tecnologia sem fio embutido para muitos dos atuais PDAs, pode-se criar uma rede chamada piconet com até oito PDAs para a troca de informações.

Como relacionado acima por Boukerche (2009), existem inúmeras aplicações de redes ad hoc móveis, porém esse trabalho tratará apenas com as redes emergenciais.

2.2 Redes Emergenciais

Redes emergenciais são aquelas construídas sobre cenários de desastres e tem

propriedade de estabelecer uma comunicação robusta, elas não são necessariamente infraestruturadas e oferecem principalmente comunicação de dados e não somente de voz (como ocorre com rádios atuais) (SCHMITT et al., 2007).

De acordo com Weiwei e Xuanxi (2006) em cenários de desastres reais, algumas redes, como redes de transporte, redes de comunicação, especialmente em redes de evacuação de emergência, o acesso aos serviços de emergência, provêem uma evacuação da multidão. Porém essas formas de comunicação não são tão eficientes quando já ocorreu o desastre, na maioria das vezes quando o desastre é dado em grandes proporções, como terremotos, furacões e desabamentos, as redes infraestruturadas são destruídas.

Em cenários de emergência os nós que compõem a equipe de resgate tendem a se mover em grupos e em geral existem pontos de interesse, como o centro de controle e a região de busca e resgate.

Um dos grandes problemas nos cenários de desastre está com os dispositivos de comunicação trazidos pelos agentes e autoridades responsáveis pelo resgate, como esses dispositivos são móveis a energia se torna um fator crítico. Contudo, o problema com o tempo de vida de baterias não pode ser um fator limitante para o estabelecimento da comunicação e envio das mensagens. Neste caso existe a preocupação em transmitir os dados necessários de forma correta, mas também economizar energia destes dispositivos.

Segundo Schmitt et al. (2007), o trabalho de coordenação e a atuação em uma região visando minimizar os danos físicos e sociais de um desastre é chamado de gerenciamento de emergência. De acordo com o gerenciamento de emergência, os agentes envolvidos no resgate como bombeiros, médicos, policiais, defesa civil são denominados respondedores, criando uma simplificação dos ajudantes em cenários de emergência, de forma que todos estão ajudando pelo mesmo propósito.

Como mostrado na Figura 2, em cenários emergenciais, é definido um modelo de mobilidade emergencial.

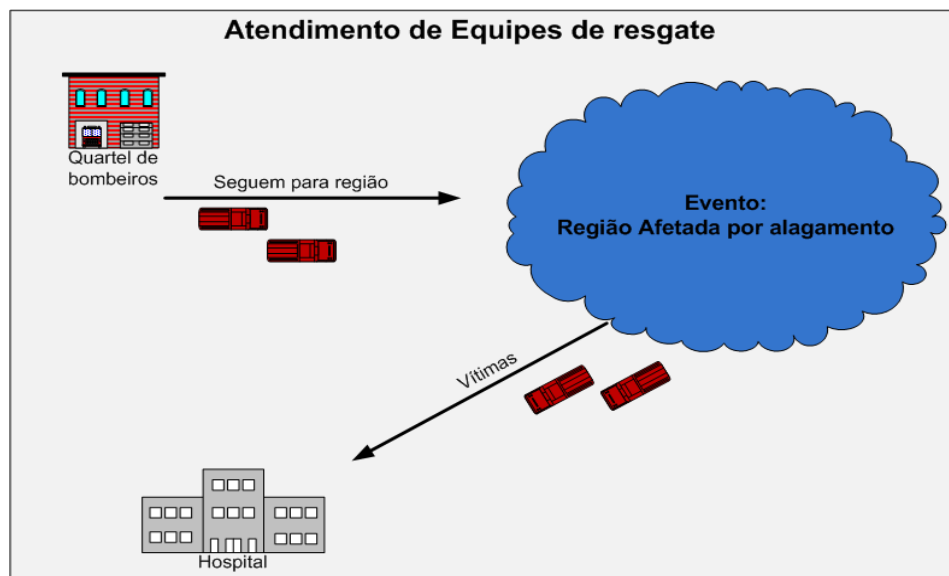


Figura 2 - Modelo de mobilidade (POERSCH, 2009)

Este modelo consiste em definir as regiões de interesse, como locais de busca e resgate, os respondedores e viaturas, neste modelo são representados como nós da rede, desta forma os civis e vítimas não são considerados nós da rede.

Nesses cenários de emergência, devido a fatores como obstáculos e interferências, a conectividade fim-a-fim é altamente suscetível a interrupções. Isto faz com que sejam ineficazes os protocolos de roteamento nas MANETs atuais, que necessitam estabelecer um caminho fim-a-fim para comunicação entre os nós, como por exemplo os protocolos AODV e DSR (JAIN et al., 2004). Dessa forma, torna-se necessário a utilização de redes tolerantes à falhas e interrupções (DTN) para serem satisfeitos os problemas quanto à entrega das mensagens.

2.2.1 Trabalhos Relacionados a Redes Emergenciais

Há algum tempo têm-se pesquisado sobre redes emergenciais no mundo, com isso pode-se encontrar na literatura várias soluções tanto tecnológicas quanto organizacionais para a resolução dos problemas em cenários emergenciais utilizando as MANETs.

O Sahana (CAREEM et al., 2007) é um sistema *Web* de código livre que visa ajudar na fase de restabelecimento após um desastre. Ele é uma ferramenta de colaboração que auxilia em vários problemas de coordenação que ocorrem após e durante um desastre, como encontrar pessoas desaparecidas, gerenciar a ajuda e os voluntários e acompanhar a situação de acampamentos para desabrigados. O sistema foi utilizado no Tsunami da Ásia em 2004 e também no terremoto do Haiti no início de 2010.

O Sahana, é um sistema que auxilia nas buscas e resgates, porém não efetua essa intercomunicação entre dispositivos que estão realmente no evento de desastre, porém é de grande valia as informações expostas em seu sistema *web*.

O projeto DUMBO (KANCHANASUT et al., 2008) (Digital Ubiquitous Mobile Broadband OLSR) implanta *Mobile Ad Hoc Network* (MANET) para situações pós-desastre, onde infraestruturas de rede fixa não estão disponíveis, uma rede de emergência deve ser colocada em prática com urgência. Esse projeto permite *streaming* de vídeo, VoIP e mensagens curtas afim de resgatar os indivíduos envolvidos nos desastres. Também provê uma fácil configuração com os dispositivos Wi-Fi, laptops, PDAs, que estão prontamente disponíveis no mercado.

Este projeto, DUMBO, está mais de acordo com as propostas desse trabalho, de forma que também como esse, visa estabelecer a comunicação entre dispositivos móveis heterogêneos, porém esse trabalho não provê comunicação

por vídeo ou VoIP, mas objetiva-se em encontrar algoritmos de roteamento tolerante a atrasos que são adaptáveis aos cenários de desastre.

2.3 Redes Tolerantes a Atrasos DTN

A existência de uma conectividade fim-a-fim entre os terminais que desejam se comunicar é uma idéia básica para o bom funcionamento de redes convencionais como as redes cabeadas e as redes ad hoc. Na maioria dos protocolos de roteamento, o sucesso na descoberta de uma rota só é possível caso exista um caminho entre a fonte e o destino. Entretanto, existem cenários onde nem sempre é possível garantir essa conectividade fim-a-fim, ou por ela nunca existir ou por ser intermitente.

Esta dificuldade tem estimulado grupos de pesquisa na procura de soluções para este problema, como o DTNRG (*Delay Tolerant Network Research Group*) DTNRG (2002) criado pelo IRTF (*Internet Research Task Force*) (INTERNET RESEARCH TASK FORCE - IRTF, 2010). A essas redes, que levam em consideração frequentes desconexões e longos atrasos, se dá o nome de DTN (*Delay Tolerant Networks*).

As principais características das DTNs estão relacionadas às desconexões e aos longos atrasos na entrega de mensagens. Estes atrasos podem ser de horas e até mesmo dias. Com relação às desconexões, estas podem ocorrer pela alta mobilidade dos nós, que provoca constantes mudanças na topologia da rede, por péssimas condições de comunicação, por economia de recursos. Estes eventos podem resultar em uma conectividade intermitente da rede durante um período, ou ainda, pode ser que um caminho entre a origem e o destino nunca chegue a ficar completamente estabelecido (OLIVEIRA, 2008).

Ainda que uma conectividade fim-a-fim, em uma DTN, seja rara de ocorrer entre dois nós (fonte e destino), os protocolos de roteamento se

aproveitam de enlaces criados pelo encontro do nó com algum vizinho. Deste modo, os nós, após trocarem alguma informação referente ao funcionamento do protocolo utilizado, repassam a mensagem que tenham acordado em transmitir. Desta forma explora-se a mobilidade dos próprios nós na tentativa de entregar uma mensagem ao nó de destino (LINDGREN; DORIA; SCHELN, 2003). Logo, os protocolos de roteamento em DTN pertencem a classe *store-carry-and-forward*, ou seja, quando deseja-se enviar uma mensagem, esta é armazenada em *buffer* e encaminhada nó a nó desde a origem até o destino, de acordo com os enlaces disponíveis.

Como o *buffer* dos nós tem pouca capacidade de armazenamento, quando um nó chega com uma nova mensagem é difícil que eles consigam trocá-las, devido ao tempo de contato entre os nós ser muito menor que o tempo de transmissão. Desta forma, a difusão das mensagens pela rede fica prejudicada e conseqüentemente o nó é obrigado a permanecer mais tempo com a mensagem armazenada e, este procedimento pode conduzir à saturação do espaço de armazenamento e finalmente ao descarte. Assim, o correto funcionamento da rede depende da capacidade de armazenamento dos seus nós, da capacidade de transferência de dados durante o tempo de contato entre eles e da cooperação entre os componentes (PANAGAKIS; VAIOS; STAVRAKAKIS, 2007; BUTTYÁN et al., 2009).

O gasto de energia também pode representar um problema em DTN. Como a principal característica dessas redes, em especial as redes emergenciais é a mobilidade dos seus nós, supõe-se que um dos fatores críticos de tais nós seja a capacidade energética.

Grande parte das aplicações em redes DTN é voltada para equipamentos móveis onde recursos como capacidade energética e espaço de armazenamento são críticos, como aplicações em redes de sensores e em redes emergenciais. Com isso, observa-se que a abordagem, de replicar um grande volume de

mensagens em ambientes com escassez de recursos ou poucos nós não é o mais indicado, logo que ao replicar as mensagens em cada nó, rapidamente os nós vão saturar o seu *buffer*.

Devido a isso, uma categoria de protocolos chamados encaminhadores foi se desenvolvendo. Nessa categoria, o protocolo de roteamento aproveita-se da coleta de alguma informação que lhe proporcione um melhor encaminhamento ou uma decisão mais inteligente de qual mensagem a se encaminhar. O ideal é que na oportunidade de contato o nó transmissor estude a viabilidade de enviar mensagens ao seu par de comunicação, além de selecionar dentre as mensagens que possui, qual transmitir primeiro.

Entretanto este tipo de procedimento não é simples de ser aplicado, em decorrência do tipo de movimentação dos nós, limitação do espaço de armazenamento, falta de energia, tempo de contato, entre outros.

Desta forma, para que o desempenho dessas redes seja satisfatório, os recursos dos nós (energia e armazenamento) devem ser bem aproveitados ou administrados.

2.3.1 Arquiteura DTN

A arquitetura DTN prevê a utilização da técnica de comutação de mensagens e o armazenamento persistente dos dados, definindo uma sobre camada (*overlay*) abaixo da camada de aplicação. Esta nova camada é denominada camada de agregação (*Bundle Layer*) (OLIVEIRA, 2008).

Os pontos que armazenam as mensagens são denominados nós DTN, sejam eles origem, destino ou pontos intermediários. O protocolo de agregação é executado em todos os nós DTN pertencentes à rede.

As aplicações das DTNs enviam mensagens de tamanhos variáveis chamadas de unidades de dados da aplicação (*Application Data Units - ADUs*). As mensagens são transformadas pela camada de agregação em uma ou mais

unidades de dados de protocolo (*Protocol Data Units - PDUs*) denominadas agregados (*bundles*), que são armazenadas e encaminhadas pelos nós DTN. (OLIVEIRA, 2008).

Na prática, a camada de agregação isola, através de um dispositivo de armazenamento, as camadas inferiores da camada de aplicação, como pode ser visto na Figura 3. Isso permite a interoperabilidade de dispositivos e redes, que só passarão as informações para o destino. Os nós intermediários passam as informações de uma camada de agregação para outra.

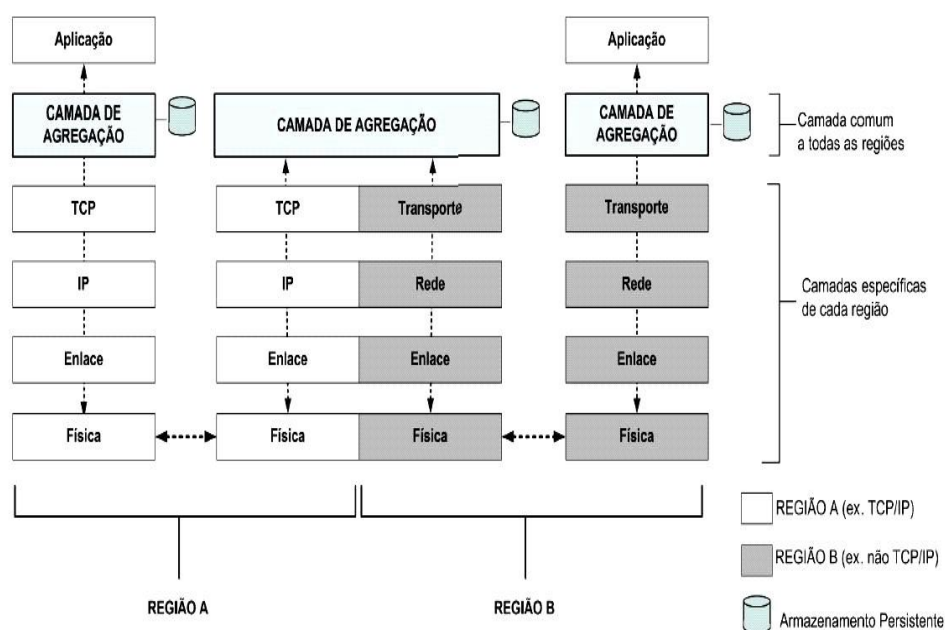


Figura 3 - Arquitetura DTN, camada de agregação (OLIVEIRA, 2008)

Dependendo das características da rede regional atravessada, pode ser necessário reduzir o tamanho do agregado para que ele possa ser encaminhado. As funções de fragmentação e reagrupamento do agregado são executadas pelo protocolo de agregação. Após a fragmentação, cada fragmento continua sendo visto como um agregado que pode ser fragmentado outras vezes. Dois ou mais

fragmentos podem ser reagrupados em qualquer lugar da rede, formando um novo agregado.

2.3.2 Roteamento em DTN

Com os protocolos de roteamento ad hoc, as mensagens não são entregues se em uma partição da rede não existe um enlace entre a origem e o destino. Tendo em vista que os protocolos de roteamento convencionais não foram projetados para redes com frequentes desconexões e atrasos eles não apresentam um bom desempenho neste tipo de ambiente, Boice et al. (2007), desta forma se tornou cada vez mais necessário as pesquisas em torno de protocolos de roteamento específicos para DTN.

Os protocolos de roteamento DTN determinam a maneira que os nós irão transmitir as mensagens entre eles, até que cada mensagem alcance o seu destino. Uma forma de reduzir o tempo de transmissão de mensagens, é economizar meios como capacidade de armazenamento e energia.

Por existirem vários protocolos de roteamento DTN devido a diferentes tipos de cenário ou tipos de contato entre os nós, diferentes soluções de roteamento foram encontradas. Segundo Zhang (2006), essas soluções são classificadas de acordo com o grau de informação disponível sobre a topologia da rede. Assim as DTNs são divididas conforme o seu cenário (topologia), que são ditos determinísticos ou estocásticos. De modo sucinto pode-se dizer que o cenário é referido determinístico quando se sabe a informação dos instantes de contato entre os nós da rede e a capacidade de armazenamento dos mesmos. Caso contrário, o cenário é considerado estocástico.

Desta forma, como as DTNs foram classificadas em determinísticas e estocásticas, pode-se dividir os protocolos de roteamento nessas redes em dois grupos: os baseados em replicação e os baseados em encaminhamento.

A principal diferença entre estes dois grupos está no fato do nó ao transmitir uma mensagem permanecer com esta armazenada, explicando o caso do roteamento baseado em replicação ou apagá-la de seu *buffer* no caso do roteamento baseado em encaminhamento.

As estratégias que estão no primeiro grupo, roteamento baseado em replicação, como em Vahdat e Becker (2000) e Spyropoulos, Psounis e Raghavendra (2008), possuem um custo de manutenção das informações de roteamento baixo, porém o impacto de mensagens de dados tende a ser maior. De forma genérica, os algoritmos de roteamento dessa classe tendem a ser do tipo *flooding*, inundando toda a rede com suas mensagens utilizando diferentes critérios.

Em Vahdat e Becker (2000), foi definido um algoritmo de roteamento chamado Epidêmico, com o objetivo de rotear mensagens em DTNs maximizando a taxa de entrega, minimizando a latência e a quantidade de recursos consumidos na entrega das mensagens. O funcionamento desse protocolo é semelhante a uma doença epidêmica, enquanto houver espaço em *buffer* mensagens são repassadas a cada contato entre nós, assim como a infecção de um indivíduo por outro em uma epidemia. Cada nó da rede possui uma lista com as mensagens que o mesmo armazena. Essa lista é trocada entre vizinhos que estão no mesmo alcance de transmissão e serve para que um nó determine quais as mensagens existentes no *buffer* do vizinho ele ainda não possui, para então solicitá-las. Esse processo de troca de mensagens se repete sempre que um nó entra em contato com um novo vizinho. Embora o roteamento epidêmico possa ter uma alta taxa de entrega e baixo atraso, não raro a capacidade de *buffer* dos nós pode ser ultrapassada ocasionando assim o não repasse das mensagens e a consequente queda da taxa de entrega.

Em Spyropoulos, Psounis e Raghavendra (2008) foi proposta uma família de protocolos de múltiplas cópias chamada de *Spray*. Seu objetivo é

gerar um pequeno número de cópias a fim de assegurar que o número de transmissões seja pequeno e controlado. Um dos esquemas propostos é chamado de *Spray and Wait*. Neste esquema, o nó origem repassa todas as cópias para os primeiros L nós distintos que ele encontra. Uma vez que as cópias são distribuídas, deve ser realizada a transmissão direta. Segundo Spyropoulos, Psounis e Raghavendra (2007), o roteamento *Spray and Wait* não tem um bom desempenho para cenários onde a mobilidade é pequena e localizada.

O segundo grupo, roteamento baseado em encaminhamento, implicam em custos maiores de comunicação e armazenamento para a manutenção de informação de roteamento nos nós. Tais custos crescem na proporção do número de nós da rede e, dependendo do tipo de dispositivo, podem vir a ser muito altos. Por outro lado, o tráfego de mensagens de dados tende a ser mais econômico utilizando estas estratégias.

De acordo com Burns, Brock e Levine (2005), é definido um protocolo de roteamento chamado de MV (*Meeting Visit*), que tem o objetivo de aprender a frequência de contatos entre pares de nó e suas visitas em certas regiões geográficas. As frequências passadas são usadas para classificar cada mensagem de acordo com sua probabilidade de entrega através de um caminho específico. Assume-se que a probabilidade de visitar uma região no futuro está relacionada com o seu histórico de visitas do nó naquela região.

O P_{RO}PHET (*Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity*) Lindgren, Doria e Sheln (2003), ou Protocolo de Roteamento Probabilístico usando histórico de encontros e transitividade, usa uma métrica que indica a probabilidade de um nó entregar uma mensagem a um destinatário. Essa métrica é chamada de previsibilidade de entrega. De acordo com Lindgren, Doria e Sheln (2003), quando dois nós se encontram, uma mensagem é enviada para o outro nó se a previsibilidade de entrega ao destino for mais alta no outro nó. Contudo, como o nó que repassou a mensagem pode

encontrar um nó melhor ou o próprio destino final no futuro, a mensagem repassada não é removida do nó, mas fica armazenada em *buffer* (desde que haja espaço disponível). Além disso, uma função de transitividade também é usada.

A seguir segue uma tabela que mostra alguns outros algoritmos de roteamento para redes DTN e simplifica a explicação sobre cada um, de forma que possa ser verificado que além dos algoritmos utilizados nesse trabalho ainda existem muitos outros que podem ser analisados.

Tabela 1 - Algoritmos de roteamento DTN

Algoritmo	Gerenciamento Buffer	Probabilidade De entrega	Complexidade
SWIN (SMALL; HASS, 2003)	Sem descarte de mensagens transmitidas	Não	Simples
MRP (NAIN et al., 2003)	Remove mensagens mais antigas	Não	Simples
MBR (BECKER; SCHIELE, 2001)	Sem descarte de mensagens transmitidas	Não	Média
SEPR (TAN; ZAHNG; Zhu, 2003)	Remove mensagens com maior EPL	Sim, Cálculo de EPL(comprimento efetivo do percurso)	Média
CAR (MUSOLESI et al., 2005)	Sem descarte de mensagens transmitidas	Sim, utiliza filtro Kilman	Média
IBRR (SHEN et al., 2002)	Sem descarte de mensagens transmitidas	Sim	Média
Erasure Coding (WANG et al., 2005)	Sem descarte de mensagens transmitidas	Não	Alta

Com esses protocolos de roteamento para redes DTN apresentados sucintamente, definir-se-ão os protocolos de roteamento epidêmico, PROPHET e colônia de formigas mais profundamente no próximo tópico, buscando a maior

compreensão de forma que esses algoritmos serão utilizados no ambiente de simulação.

2.3.3 Algoritmo de Roteamento Epidêmico

Este algoritmo de roteamento para redes DTN, denominado epidêmico, foi proposto por Vahdat e Becker (2000), e será estudado mais profundamente devido a sua utilização nas pesquisas deste projeto.

A idéia principal dos algoritmos epidêmicos é funcionar como uma doença contagiosa ou epidemia, disseminando a informação do nó de origem de forma aleatória para um conjunto de nós que estão em sua faixa de transmissão, quando este conjunto de nós recebe a informação, cada nó a envia para outro conjunto de nós escolhidos aleatoriamente até encontrar o nó destino. Na Figura 4 é ilustrado o funcionamento dos algoritmos epidêmicos.

O princípio do modelo simula a propagação de uma epidemia e desta forma pode-se falar em disseminação epidêmica de informação. Na figura o tópico (a) indica um conjunto de vinte e quatro nós, e o nó preto indica que ele irá transmitir, logo no tópico (b) o nó transmissor obtém a visão parcial da rede, para que no tópico (c) possa transmitir a primeira vez para três nós, e logo no tópico (d) onde ocorre a segunda transmissão os primeiros três nós que receberam a mensagem transmitem cada um para mais três. Assim a mensagem vai disseminando sobre a rede até chegar ao nó destino.

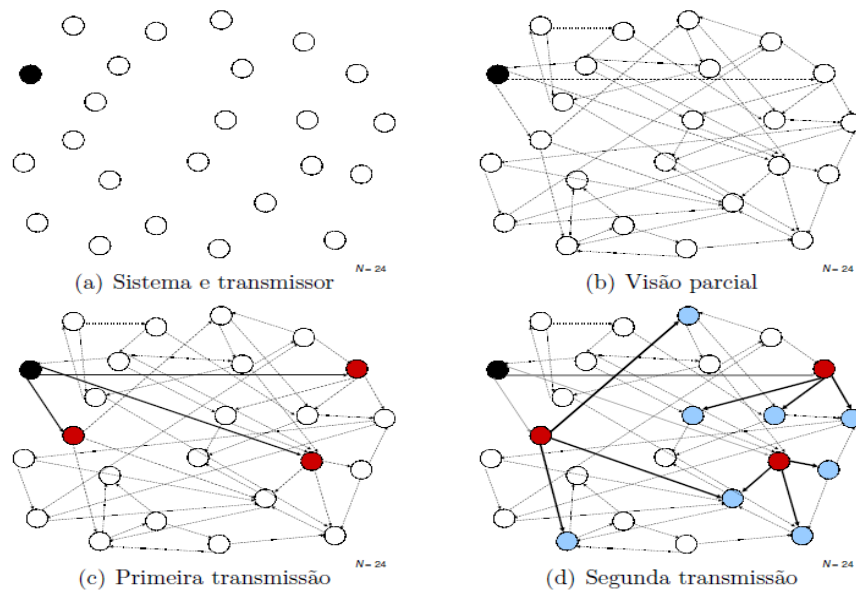


Figura 4 - Disseminação de mensagens - Epidêmico (ATANASIO; LI, 2007)

Os algoritmos epidêmicos têm ganhado popularidade como meio robusto e escalável de propagação de informação, desta forma os algoritmos de roteamento epidêmicos estão sendo aplicados em MANETs e de acordo com Tennent et al. (2005) esses algoritmos também estão sendo utilizados em aplicações não móveis, como sincronização de informação em base de dados distribuídos.

Segundo Vahdat e Becker (2000), os objetivos do algoritmo epidêmico são:

- Distribuir eficientemente, as mensagens pelas redes ad hoc conectadas;
- Minimizar a quantidade de recursos consumidos na transmissão das mensagens;
- Maximizar a porcentagem de mensagens entregues ao seu destino.

No contexto de algoritmos epidêmicos, todos os nós da rede estão potencialmente envolvidos na disseminação. O objetivo do algoritmo epidêmico

é a entrega de uma mensagem a um destinatário específico, porém, para isso, torna a mensagem conhecida para uma grande parcela do sistema. O algoritmo epidêmico se caracteriza por quatro parâmetros:

- Tamanho do Sistema (n): número de nós do sistema;
- Número Máximo de Transmissões (t): quantidade máxima de saltos até o destino, ou ainda TTL (*time-to-live*) das mensagens;
- *Fanout* (f): número máximo ou proporção de vizinhos que serão contaminados por um nó infectado;
- *Buffer* (b): tamanho do *buffer* de cada nó, responsável por armazenar as mensagens.

Na Figura 5 é apresentado um esquema que contextualiza estes parâmetros.

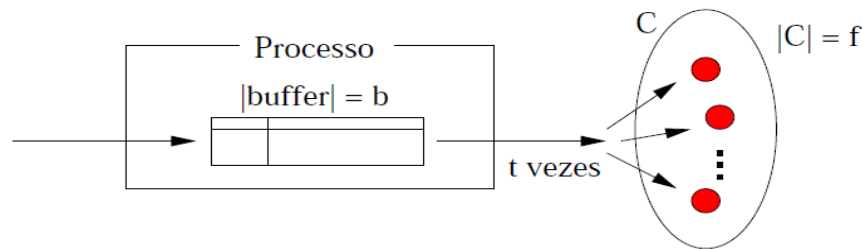


Figura 5 - Esquema dos parâmetros dos algoritmos epidêmicos (ATANASIO; LI, 2007)

O ponto chave da confiabilidade nos algoritmos epidêmicos está em seu mecanismo pró-ativo, onde redundância e aleatorização contornam as potenciais falhas de nós e de *link* (GUPTA ; BIRMAN; RENESSE 2002). Durante o procedimento de entrega das mensagens, os nós escolhem sempre conjuntos aleatórios de nós para os quais retransmitem as mensagens e em nenhum momento há mecanismos para detectar ou recuperar falhas. Modelos probabilísticos, como PROPHET, garantem alta probabilidade de disseminação atômica da informação.

2.3.4 Algoritmo de Roteamento PRoPHET

Um dos principais algoritmos probabilísticos utilizados em redes tolerantes a atrasos é denominado PRoPHET (*Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity*), Lindgren, Doria e Scheln (2003), protocolo de roteamento probabilístico utilizando históricos de encontros e transitividade.

Da mesma forma em que acontece no algoritmo de roteamento epidêmico, em que os nós em contato trocam suas listas com informações de cada nó, acontece também no algoritmo PRoPHET. Porém o PRoPHET possui uma informação adicional, tratando-se de uma probabilidade de cada nó entregar mensagens para um outro nó destino conhecido, assim tem-se: $P(a,b)$. O valor de $P(a,b)$ aumenta sempre que a e b se encontram. Essa probabilidade é diretamente proporcional ao tempo transcorrido, então se a e b deixam de se encontrar frequentemente, $P(a,b)$ diminui. Esse tempo é controlado por uma constante k denominada constante de envelhecimento, que corresponde ao número de unidades de tempo transcorridas desde a última vez que a métrica foi atualizada.

Segundo Boukerche (2009), como existe o cálculo da probabilidade de entrega, existe no algoritmo PRoPHET, uma propriedade transitiva, baseando-se na observação de que: se um nó a encontra um nó b , e o nó b encontra um nó c , logo o nó c possui uma grande probabilidade de entrega de mensagens destinadas para o nó a . A probabilidade de entrega é calculada como segue:

$$P_{(a,b)} = \left\{ \begin{array}{ll} P_{(a,b)old} + (1 - P_{(a,b)old})P_{Init} & \text{se } a \text{ e } b \text{ se encontram} \\ P_{(a,b)old} * \gamma^k & \text{se } a \text{ e } b \text{ não encontram por um } k \text{ tempo} \end{array} \right\}$$

sendo que P_{Init} em $(0,1)$ é uma constante de inicialização e γ em $(0,1)$ uma constante de tempo.

Quando um nó recebe a lista do vizinho, ele calcula a probabilidade de entrega para cada uma das mensagens que ainda não possui armazenada. Em

seguida, para cada mensagem, o nó compara a probabilidade indicada na sua lista com a probabilidade indicada na lista recebida do vizinho.

Essa comparação é realizada para verificar qual dos nós possui a maior probabilidade de entrega. Feita essa comparação, devem ser realizados três procedimentos. Primeiro, o nó deve enviar um pedido das mensagens não armazenadas que possuem uma maior probabilidade de serem entregues através dele. Segundo, recebe o pedido de mensagens do vizinho e as envia. Terceiro, apaga do *buffer* todas as mensagens que o vizinho tem maior probabilidade de entregar. No final, cada nó só guarda as mensagens cujas probabilidades de sucesso de entrega sejam maiores quando a entrega é realizada através dele. Os resultados das simulações demonstram que o PROPHET apresenta um bom desempenho em redes com alta mobilidade ou que possuem nós com grandes alcances de comunicação, já que estes fatores permitem um maior número de encontros de nós, o que conseqüentemente permite que mais informações sobre a rede sejam trocadas.

2.3.5 Algoritmo de Roteamento baseado em colônia de formigas

Segundo Di Caro, Ducatelli e Gambardella (2004), o algoritmo baseado na heurística de colônia de formigas é um algoritmo que pode ser usado em roteamento para MANETs. Ele é baseado especificamente no comportamento de auto-organização observada em colônias de formigas, utilizando a descoberta de caminhos mais curtos, esse algoritmo é baseado no quadro de otimização *Ant Colony Optimization* (ACO).

Foi observado experimentalmente que as formigas em uma colônia podem convergir para mover-se sobre o menor entre todos os caminhos diferentes possíveis, fazendo uma conexão entre seu ninho e onde se encontra a fonte de alimento (DORIGO; DI CARO; GAMBARDELLA, 1999).

Inicialmente, cada nó, ou formiga, tentará ir da origem ao destino de uma mensagem, se este caminho houver, e dessa forma coletarão informações como atraso fim-a-fim e número de saltos, para que possa utilizar essas informações para fazer o caminho de volta e assim atualizar as informações de roteamento a cada encontro com outros nós.

Essa primeira análise do terreno, ou cenário em que os nós estão se movendo, é importante no sentido de que, no decorrer da transmissão das mensagens, os nós possuem uma lista de informações sobre a rede, mesmo que exista uma grande mobilidade dos nós, esses nós tendem a se moverem por caminhos comuns durante o tempo, e as listas serão sempre atualizadas, e dessa forma há uma grande chance de passar pelo mesmo caminho várias vezes e assim, esse algoritmo reduz o número de saltos para a mensagem seguir da origem ao destino.

O principal catalisador que determina o comportamento dessa colônia para encontrar o caminho mais curto é o uso de uma substância química chamada feromônio volátil: as formigas que se deslocam entre a origem e o destino depositam o feromônio pelo caminho e, dessa forma, as outras formigas seguem na direção que possui a maior intensidade de feromônio.

O decaimento do feromônio será sempre atualizado pelo tempo decorrido, e assim a cada interação entre um nó e outro vizinho eles vão verificar qual possui o maior feromônio e assim qual tem a maior probabilidade de entrega das mensagens. As atualizações de feromônios são responsáveis pela manutenção das rotas durante o movimento dos nós da MANET.

Os caminhos mais curtos podem ser concluídos mais rapidamente e com maior frequência pelas formigas, e, portanto, ser marcado com maior intensidade de feromônio.

Conforme Dorigo, Di Caro e Gambardella (1999) o algoritmo baseado em colônia de formigas é mostrado no algoritmo 3.

Algoritmo 1 – Colônia de formigas

Parâmetros iniciais

1. **Enquanto** iterações não foram completadas **faça**
 2. Construa soluções
 3. Atualize Feromônios
 4. **Fim Enquanto**
-

Construa soluções indica a primeira parte do processo de aquisição de informações que os nós vão obter sobre o cenário, como citado anteriormente, faz a verificação de um caminho fim-a-fim, e se não houver, verifica a quantidade de saltos necessário da origem ao destino.

O passo de atualização do feromônio indica a valorização dos caminhos com maior feromônio e a desvalorização dos demais caminhos, de acordo com Iyengar e Pattnaik (2010), para a atualização do cálculo de decaimento de feromônio em cada nó é feito o seguinte cálculo:

$$\tau_{ij}^d = 2/(hops + t)$$

O parâmetro τ indica a atualização do feromônio sobre o enlace (i,j) para o destino d, e assim é efetuado o cálculo usando o número de *hops* que a mensagem sofre e o intervalo de tempo entre sua saída e chegada ao destino.

Com os estudos feitos sobre os algoritmos de roteamento em redes DTN, que foram utilizados na simulação deste trabalho, houve a necessidade de estudar uma forma de representação de mapas, ignorando o mapa já incorporado ao simulador.

Dessa forma chegou-se ao OpenJUMP, e assim foi criado o mapa de acordo com o cenário proposto descrito no capítulo 3.

2.4 Representação de mapas com OpenJUMP

O OpenJUMP, mostrado na Figura 6, é um software idealizado pelo Ministério de Recursos Sustentáveis da Columbia Britânica Canadá, Ministério de Recursos Naturais de Ontário e do Centro de Informações Topográficas do Canadá, desenvolvido pela *VividSolutions* e com apoio da *Geoconnections* afim de gerar uma ferramenta GIS (*Geographical Information System*) ou SIG (Sistema de Informação Geográfica) livre que atendesse suas necessidades.

O OpenJUMP é um programa desenvolvido em Java e de código aberto, que possui uma interface simples de edição de objetos geométricos e exporta o resultado final para diversos formatos, em especial o *WKT*, assim o OpenJUMP enquadra-se como uma parte desse trabalho de forma que ele atua como um software para representação de mapas, já que o simulador *ONE* suporta o formato *WKT* (*Well-Know Text*). A linguagem *WKT* permite de forma simples e direta descrever objetos geométricos como pontos, retas, polígonos e composições destes mesmos objetos, o que se encaixa de forma adequada na representação de mapas rodoviários em duas dimensões.

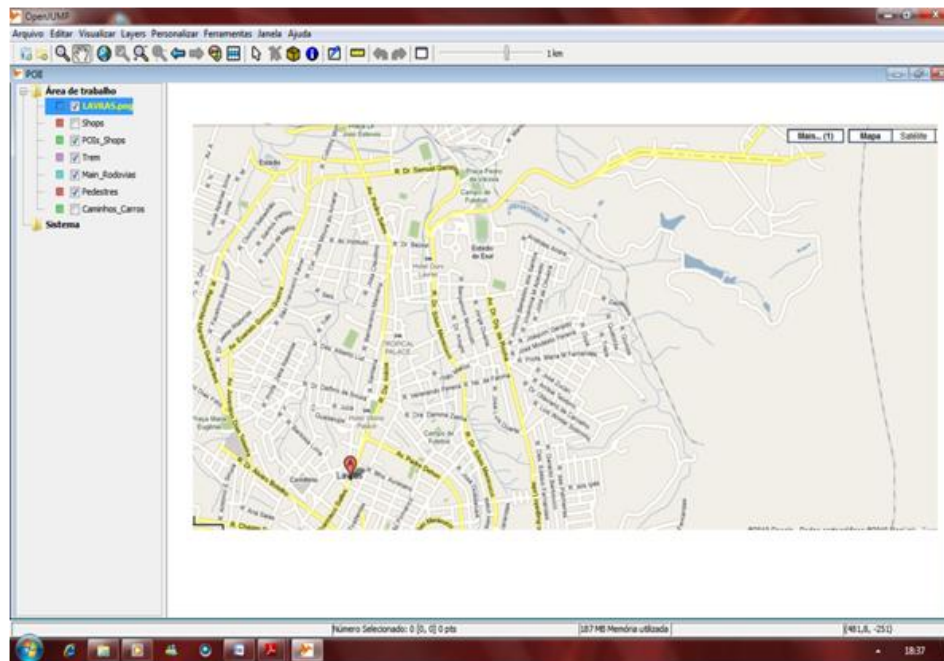


Figura 6 - OpenJUMP

2.5 Simulador The ONE

De acordo com Keranen e Ott (2007), *Opportunistic Network Environment*, ou *ONE*, como mostrado na Figura 7, é uma ferramenta *open source*, desenvolvida em Java, que simula uma rede DTN. Implementando todos os mecanismos necessários ao funcionamento de uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões, como os algoritmos de disseminação de mensagens, por exemplo, fornece uma poderosa ferramenta para simular situações emergenciais, sendo possível executar e customizar conforme seja necessário.

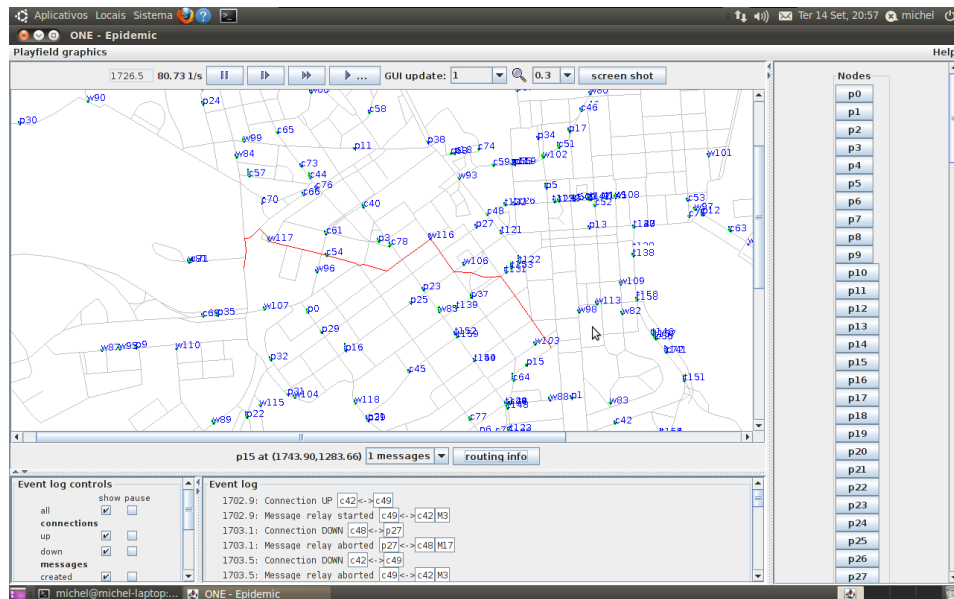


Figura 7 - ONE Simulator

2.5.1 Funcionamento e Características

O funcionamento do *ONE* depende inicialmente da construção de um cenário de simulação por parte do usuário. Um cenário pode ser construído por meio da inserção de diversos elementos, dentre eles:

- Grupos de nós
- Eventos
- Protocolos de roteamento
- Modelos de movimentação
- Relatórios
- Mapas

Cada grupo de nós possui características próprias, tais como velocidade de deslocamento, taxa de transmissão, tamanho de *buffer*, quantidade de nós e

identificador (ID). Diversos grupos podem ser inseridos no cenário, possibilitando uma variedade de nós presentes no ambiente de simulação.

Os eventos a serem gerados na simulação são mensagens (ou pacotes) com origem e destino determinados. Eles podem ser configuráveis em tamanho e intervalo de criação, além de poderem restringir quais nós podem gerá-los e recebê-los.

Os protocolos de roteamento podem ser aplicados de maneira global ou local no ambiente de simulação, ou seja, cada grupo distinto de nós pode possuir seu próprio protocolo de roteamento. No *ONE*, por padrão, já estão implementados os protocolos *Epidemic*, *Spray-And-Wait*, *MaxProp* e *PRoPHET*.

Os modelos de movimentação são padrões de deslocamento de nós e podem também ser aplicados de forma global ou local aos grupos de nós. Dentre os diversos modelos, merecem destaque:

- ***CarMovement***: modelo para carros, no qual o nó possui um comportamento de seguir para um destino a partir de uma origem;
- ***BusMovement***: modelo para ônibus, no qual o nó possui um comportamento que alterna origem e destino continuamente;
- ***ShortestPath***: modelo em que o nó possui dois pontos de origem e destino, e a menor rota entre tais pontos é calculada usando o algoritmo de Dijkstra;
- ***RandomWaypoint***: modelo em que são criados diversos caminhos aleatórios entre pares de pontos, com o nó se deslocando por estes caminhos.

Os relatórios são os agrupamentos de dados gerados a partir da simulação. Eles fornecem estatísticas essenciais para a interpretação e análise dos diferentes cenários construídos, sendo os principais:

- **Mensagens criadas:** dados de mensagens que foram geradas no intervalo de simulação;
- **Mensagens entregues:** dados de mensagens que alcançaram com sucesso seu destinatário, e;
- **Conectividade da rede:** instantes de ocorrência de conexão e desconexão entre nós.

Os mapas representam o conjunto de pontos e retas nos quais os nós podem se deslocar. No simulador *ONE*, como discutido em OpenJUMP é utilizado um formato específico de representação de mapas, o formato WKT. Basicamente, a estrutura de funcionamento do *ONE*, baseando-se no fluxo dos dados, é representada abaixo pela figura 8:

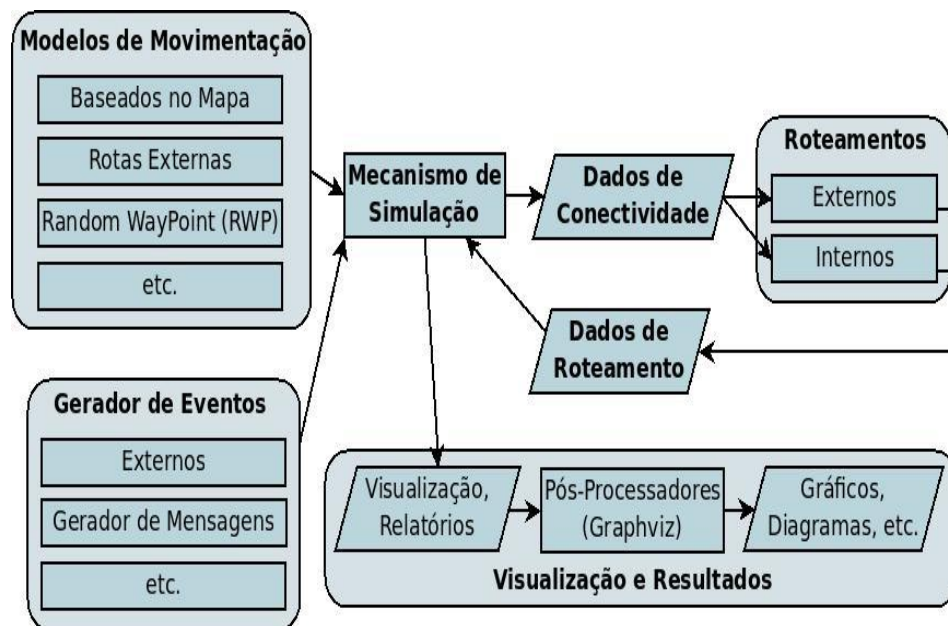


Figura 8 - Estrutura de funcionamento do ONE (KERÄNEN; OTT,

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

Esta pesquisa de acordo com a classificação de pesquisas científicas de Jung (2004) será de natureza básica com o objetivo de entender os fundamentos das redes emergenciais e realizar a pesquisa sobre algoritmos epidêmicos, dessa forma seguindo a classificação de Jung (2004), os objetivos desta pesquisa será explicativa, a fim de ampliar as generalizações que envolvem as redes emergenciais, quanto aos procedimentos. A pesquisa será experimental, de tal forma que serão efetuadas simulações em cenários de emergência e por fim será uma pesquisa de laboratório, pois se podem controlar as variáveis que possam intervir no experimento, sem afetar alguma parte dos envolvidos.

3.2 Procedimentos Metodológicos

Este trabalho foi desenvolvido com os computadores do laboratório do GRUBI (Grupo de Redes Ubíquas) do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, entre os meses de março e novembro de 2010.

Para a realização da pesquisa, foi utilizado o simulador “*Opportunistic Networking Evaluator*” THE One, Keranen e Ott (2007), para a simulação dos algoritmos de roteamento para redes móveis ad hoc (MANET) e dos cenários de desastres onde as redes infraestruturadas geralmente não fornecem mais comunicação, e foi utilizado um software de sistema de informação geográfica, *Open Jump*, para a confecção do mapa da UFLA e do centro de Lavras.

Primeiramente foram estudados conceitos importantes para determinar quais os melhores algoritmos a serem simulados.

O algoritmo epidêmico foi escolhido por ser um algoritmo de replicação,

ou seja não efetua nenhum tipo de cálculo de probabilidade, ele apenas repassa as mensagens para os vizinhos que não as possui e que estão em seu raio de alcance, e também pelo motivo de que é um algoritmo referencia em literaturas para a comparação com outros algoritmos.

Dessa forma foi escolhido o algoritmo P_{Ro}PHET, que utiliza cálculo tanto de probabilidade como de transitividade, e da mesma forma que o epidêmico, o P_{Ro}PHET é muito referenciado em literaturas como forma de comparação entre algoritmo de encaminhamento e replicação. Os algoritmo epidêmico e P_{Ro}PHET já estão implementados no simulador *ONE*.

Para incrementar a ordem dos algoritmos de encaminhamento, porém utilizando algum que fosse inspirado na natureza, foi implementado no simulador *ONE*, o algoritmo baseado nas colônias de formigas, a fim de fazer a sua análise em comparação com os demais citados acima.

Em seguida foram testados os algoritmos selecionados para a verificação do melhor desempenho em situações emergenciais.

Com isso para cada algoritmo temos os parâmetros característicos e que foram configurados como segue.

3.2.1 Configuração dos parâmetros dos algoritmos epidêmico, P_{Ro}PHET e colônia de formigas

Os parâmetros a seguir, estão explicados no capítulo anterior, tópicos 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, assim sendo, esta tabela mostrará os valores para cada parâmetro dos algoritmos.

Tabela 2 – Parâmetros dos algoritmos Epidêmico, P_{Ro}PHET e Colônia de formigas

Parâmetros dos algoritmos			
Parâmetros	Epidêmico	P _{Ro} PHET	Colônia de Formigas
TTL	Infinito	-	-
Fanout	Infinito	-	-
Buffer	Variável, de acordo com a simulação	Variável, de acordo com a simulação	Variável, de acordo com a simulação
K – constante de envelhecimento	-	Tempo transcorrido de simulação	-
P_{Init}	-	Constante = 0,75	-
γ		Constante = 0,98	-
Phero_{Init}	-	-	Constante = 1

Com os parâmetros dos algoritmos configurados de acordo com a recomendação de seus autores, pode-se fazer a configuração do cenário utilizado nesse trabalho.

3.2.2 Parâmetros de simulação e cenário proposto

Os parâmetros das simulações foram escolhidos de acordo com especificações de dispositivos móveis, afim de que a simulação possa ser feita o mais próximo do real possível, dessa forma apresentam-se os parâmetros na tabela.

Tabela 3 Parâmetros de simulação

Parâmetros de Simulação	
Modelo de Movimento	SPMBM
Tamanho do <i>buffer</i>	Variável
Velocidade Pedestres (Agentes)	1,8 - 5,4 km/h
Velocidade carros (viaturas)	10 - 50 km/h
Tempo de simulação	Aproximadamente 6 horas
Mensagens Criadas	678
Velocidade de transmissão	2 Mbps
Tamanho das mensagens	500K - 1M
Área de simulação	4500 X 3400 m

O modelo de movimento baseado em mapa (*Shortest Path Map Based Movement*) é uma versão que usa o algoritmo de Dijkstra, caminho mais curto, para encontrar o seu caminho através da área do mapa. Esse modelo de movimento pode conter pontos de interesse (POIs), onde os nós costumam movimentar com mais frequência.

As simulações foram feitas utilizando o mapa criado no OpenJUMP que consiste em ruas e avenidas que vão da UFLA até o centro da cidade de Lavras-MG, como mostrado na figura 9. A partir desse mapa foi simulado um ponto de desastre na reitoria da UFLA, com os pontos de interesse centralizados na polícia militar da cidade de Lavras e o Hospital Vaz Monteiro, onde se concentra a maior parte dos envolvidos no incidente.

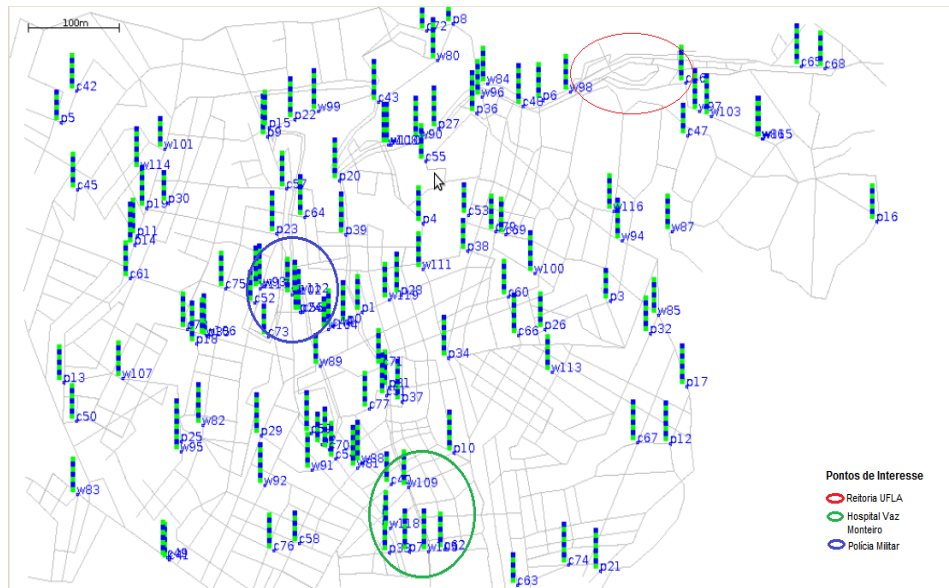


Figura 9 – Pontos de Interesse

Através da definição dos pontos de interesse e do desenvolvimento do mapa utilizado para a simulação, podem-se iniciar as simulações, e a partir delas gerar os gráficos de taxa de entrega, *overhead*, latência e fazendo a variação do *buffer*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão discutidos os resultados das simulações, as métricas utilizadas e os resultados obtidos pelas simulações dos algoritmos de roteamento propostos neste trabalho.

4.1 Simulação

Os algoritmos de roteamento em redes DTN, epidêmico, PRoPHET e baseado em colônia de formigas, propostos neste trabalho para avaliação, em cenários emergenciais, foram comparados utilizando o simulador *The ONE*, e as métricas avaliadas foram:

- Mensagens entregues
- Mensagens transmitidas
- Raio de transmissão
- Número de nós
- Latência média
- Buffer

Essas métricas foram utilizadas para o cálculo do *overhead* e da probabilidade de entrega e da latência média das mensagens, de modo que os cálculos foram feitos a partir das fórmulas a seguir.

$$Overhead = \frac{Mensagens\ transmitidas - Mensagens\ entregues}{Mensagens\ transmitidas}$$

e

$$Probabilidade\ de\ entrega = \frac{Mensagens\ entregues}{Mensagens\ Criadas} * 100$$

Para o valor de latência média não foi necessário efetuar um cálculo, pois o simulador *ONE*, retorna a latência média para cada simulação e dessa

forma, foi feita apenas o cálculo da média, variando o número de nós e de raio de transmissão.

4.1.1 Análise do raio de transmissão

As figuras 10 e 11 mostram a influência do raio de transmissão dos dispositivos móveis que estão sendo utilizados pelos agentes e por veículos em constante movimento, em relação ao número de mensagens que foram entregues e mensagens retransmitidas e também em relação à taxa de entrega das mensagens. O *overhead* de transmissão é uma métrica de suma importância, pois ela fornece a percepção de quantas mensagens estão sendo retransmitidas para cada mensagem entregue ao seu destino, dessa forma pode-se avaliar a capacidade energética dos dispositivos, de forma que quando se tem um *overhead* maior, os dispositivos vão perdendo mais energia.

Para a geração do gráfico foi considerado um número constante de nós igual a noventa, que representam os agentes e veículos, considerando um desastre de grandes proporções.

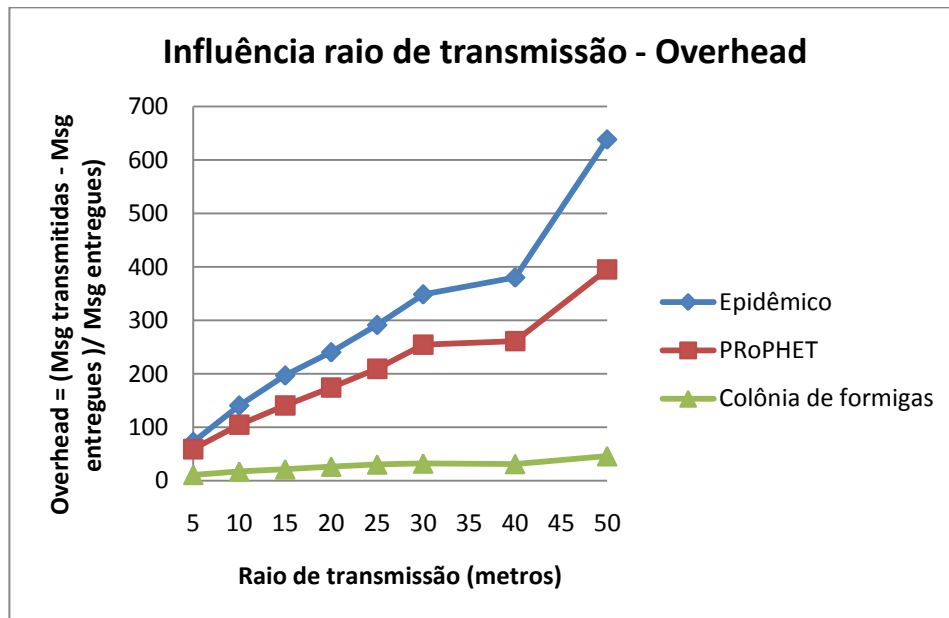


Figura 10 - Overhead – Influência do raio de transmissão

A figura 10 mostra que o algoritmo colônia de formigas obteve um menor *overhead* para todas as variações do raio de transmissão, em média o algoritmo epidêmico obteve um *overhead* 10 vezes maior e o algoritmo PRoPHET obteve um *overhead* 6 vezes maior que o algoritmo colônia de formigas.

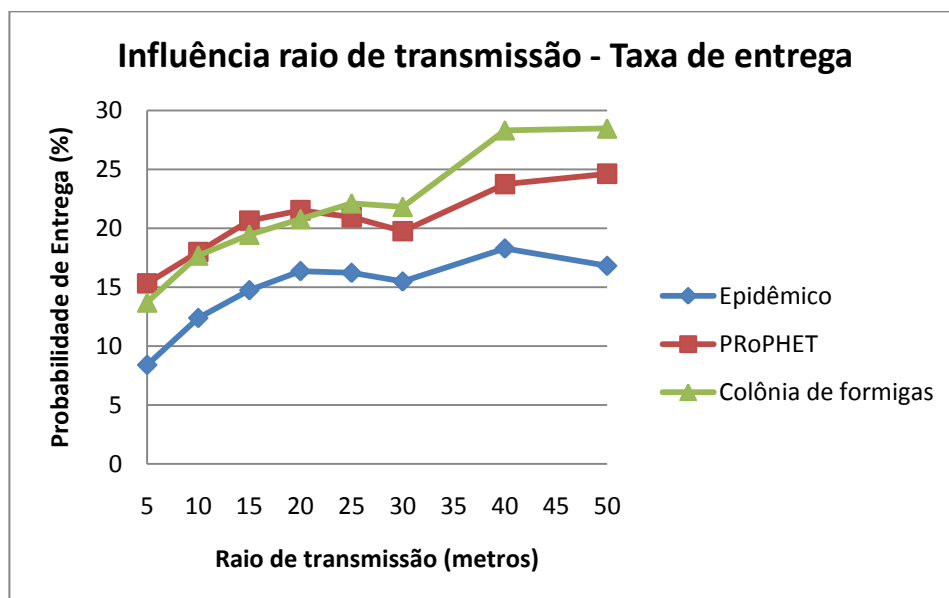


Figura 11 - Taxa de entrega – Influência do raio de transmissão

No caso da figura 11, pode-se observar que com a variação do raio de transmissão, primeiramente com um raio de 5 metros de alcance do dispositivo, o algoritmo PProPHET obtém uma ligeira vantagem sobre o algoritmo colônia de formigas, mantendo-se assim até um raio de 20 metros, entretanto, a partir do raio de 25 metros, considerando dispositivos mais robustos, pode-se observar que o algoritmo colônia de formigas obtém melhores resultados e a medida em que se aumenta o alcance do dispositivo, a diferença entre os algoritmos PProPHET e colônia de formigas segue aumentando.

Dessa forma, o algoritmo colônia de formigas é em média 45% melhor que o algoritmo epidêmico e 4% mais eficaz que o PProPHET.

4.1.2 Escalabilidade

As figuras 12 e 13 mostram a influência da variação dos nós, ou de agentes, que estão no cenário de desastre, dessa forma podemos verificar qual algoritmo possui o melhor desempenho se tratando de escalabilidade, de forma que poderão ser usadas estas informações para desastres de pequeno, médio ou grande porte.

Para a geração do gráfico foi considerado que os dispositivos móveis tenham um raio de transmissão fixo de 10 metros, atendendo a uma grande parte desses dispositivos.

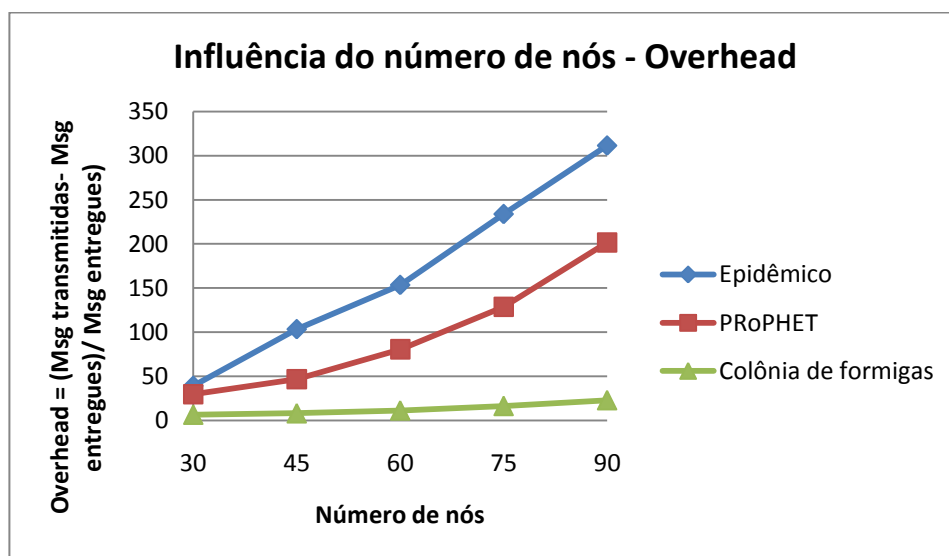


Figura 12 - Overhead – Influência do número de nós na rede

Pela figura 12 pode-se observar que o algoritmo colônia de formigas tem uma grande vantagem em relação aos demais algoritmos, esse algoritmo possui um *overhead* em média de 10 vezes menor que o epidêmico e 6 vezes menor que o PRoPHET. Dessa forma vê-se que o algoritmo colônia de formigas aplicado

aos dispositivos móveis trará uma economia significativa de recursos de bateria para estes dispositivos.

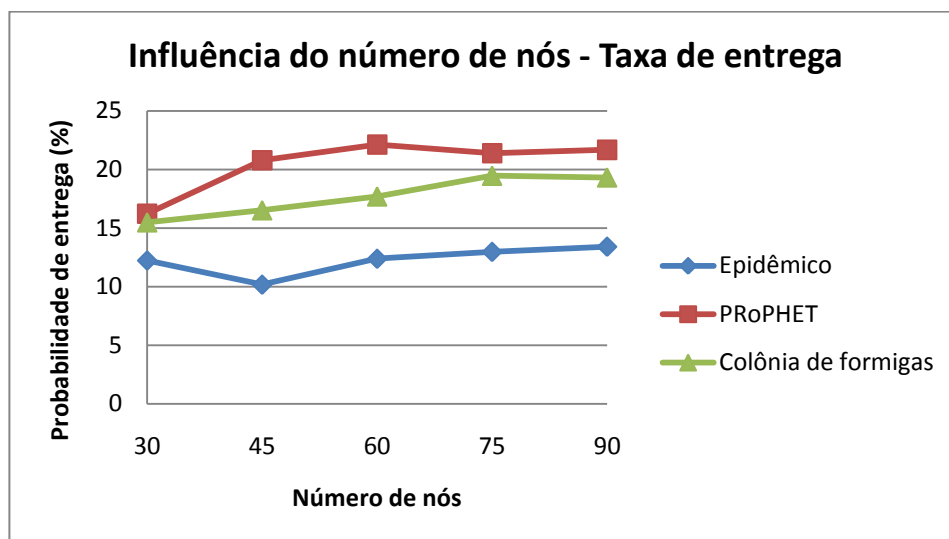


Figura 13 - Taxa de entrega – Influência do número de nós na rede

A figura 13 mostra que com o raio de transmissão fixo em 10 metros e variando apenas o número de agentes (nós), observa-se que a taxa de entrega varia sempre proporcionalmente com os três algoritmos, porém com uma melhor taxa no algoritmo PRoPHET.

Essa ligeira vantagem do PRoPHET em relação ao colônia de formigas é dado em 13%, e 44% melhor que o epidêmico, dessa forma, para regiões onde ocorreu algum desastres, e os órgãos responsáveis pela busca não possuam dispositivos mais robustos, com alcance maior, o algoritmo PRoPHET é uma opção consideravelmente aceitável, pois pela análise ele entrega mais mensagens que os demais algoritmos, porém consome mais recursos de bateria para efetuar as transmissões.

A seguir, nas figuras 14 e 15, temos a mesma variação de nós, porém com um raio de transmissão fixo igual a 30 metros, considerando dispositivos

mais robustos utilizados em veículos e até mesmo por agentes que se movimentam a pé.

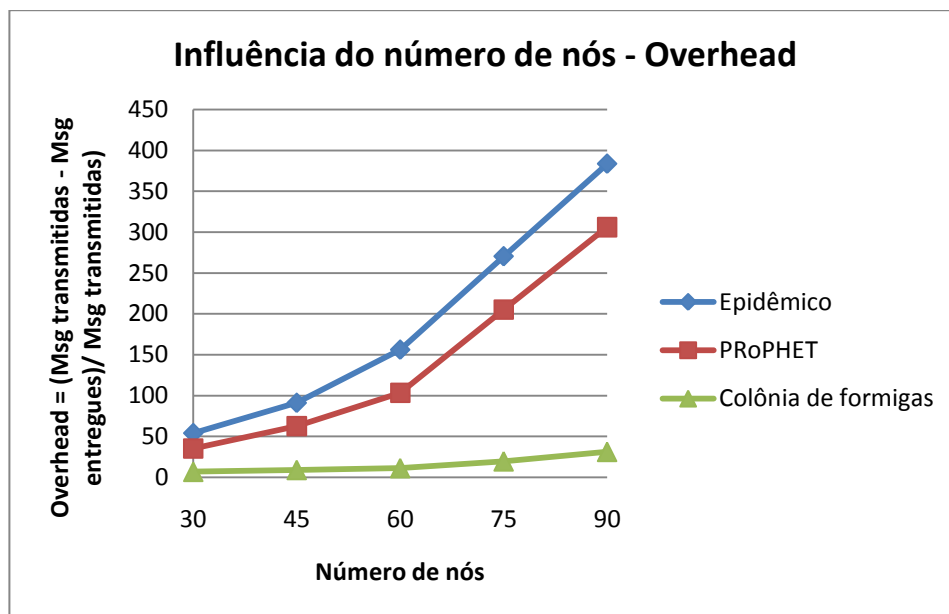


Figura 14 - Overhead – Influência do número de nós

Como visto nos demais gráficos o *overhead* do algoritmo colônia de formigas se mantém constante e muito melhor em relação aos outros dois. Nessa situação o *overhead* do algoritmo PRoPHET se manteve 10 vezes maior que o colônia de formigas e o algoritmo epidêmico sofreu um acréscimo, aumentando para 8 vezes em relação ao algoritmo colônia de formigas, verificando assim, menos retransmissões de mensagens, e uma economia maior de recursos energéticos dos dispositivos móveis.

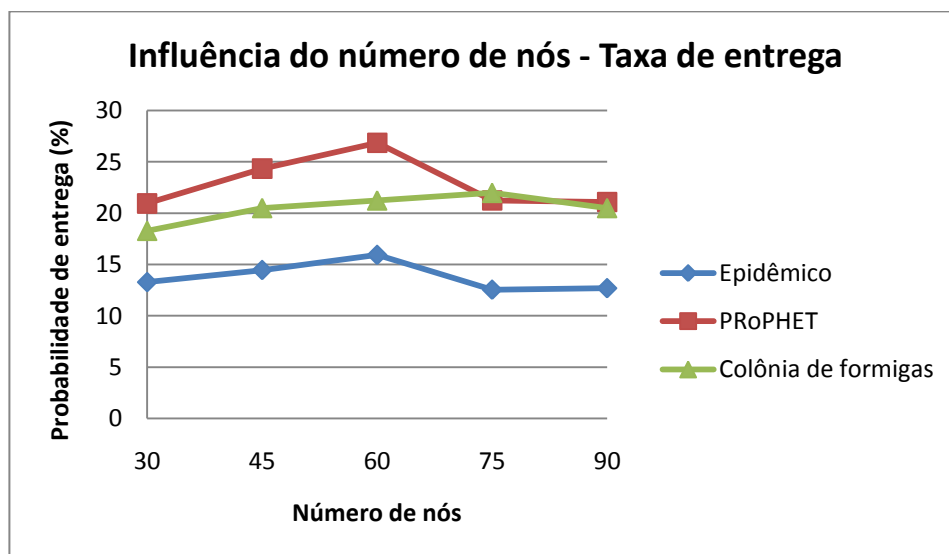


Figura 15 - Taxa de entrega – Influência do número de nós

Finalizando a seção de escalabilidade, vê-se que a taxa de entrega para o algoritmo PRoPHET possui uma ligeira vantagem em relação ao colônia de formigas até um cenário de 50 nós, para cenários acima deste vê-se que eles possuem uma pequena diferença, em média essa diferença, considerando todas as variações de cenários, o PRoPHET tem uma taxa de entrega 7% maior que o colônia de formigas e 48% maior que o epidêmico.

A diferença no *overhead* do algoritmo colônia de formigas observada nas figuras 10, 12 e 14, considerando a escalabilidade e o raio de transmissão, podem ser explicados pelo fato de que o algoritmo epidêmico não faz a troca de informações da rede com os nós vizinhos, ele apenas repassa as mensagens. E, muitas das vezes, essas mensagens são repassadas várias vezes e nem sempre chegarão ao seu destino, isso é dado pela movimentação dos nós, que tendem a se mover por caminhos conhecidos e dessa forma encontrar sempre com os mesmos nós vizinhos.

Nos algoritmos baseados em colônia de formigas e PRoPHET, a diferença no *overhead* (Figura 10,12 e 14) se dá pela forma em que eles trocam

as suas informações, de forma que o P_{Ro}PHET tem um custo alto para a troca de mensagens, pois efetua cálculos de probabilidade de entrega do nó vizinho e também cálculo de transitividade, já o algoritmo colônia de formigas efetua o cálculo do decaimento do feromônio e dessa forma ele passa sua mensagem de forma que obtenha o menor caminho.

Os cálculos efetuados pelo algoritmo P_{Ro}PHET, trazem um custo alto em relação a troca de mensagens, porém ele obtém como mostrado nas figuras 11,13 e 15, uma taxa de entrega ligeiramente maior que o algoritmo colônia de formigas, considerando um raio de transmissão até 25 metros em média, já o epidêmico não obteve um resultado tão satisfatório comparado aos outros dois.

Esta boa atuação nos resultados do algoritmo P_{Ro}PHET em relação ao colônia de formigas e epidêmico se deve aos cálculos de probabilidade e transitividade que ele efetua ao encontrar um nó vizinho e repassar sua mensagem.

4.1.3 Latência

O cálculo da latência é um fator importante, no que se trata em saber qual o tempo médio em que uma mensagem criada chegará ao seu destino, o simulador *The ONE*, oferece a possibilidade de se calcular a latência média, considerando que a simulação utiliza um valor de 20000 unidades de tempo de simulação (U.T.S) para indicar um tempo real de 6 horas, temos nas figuras 16 e 17 a latência média.

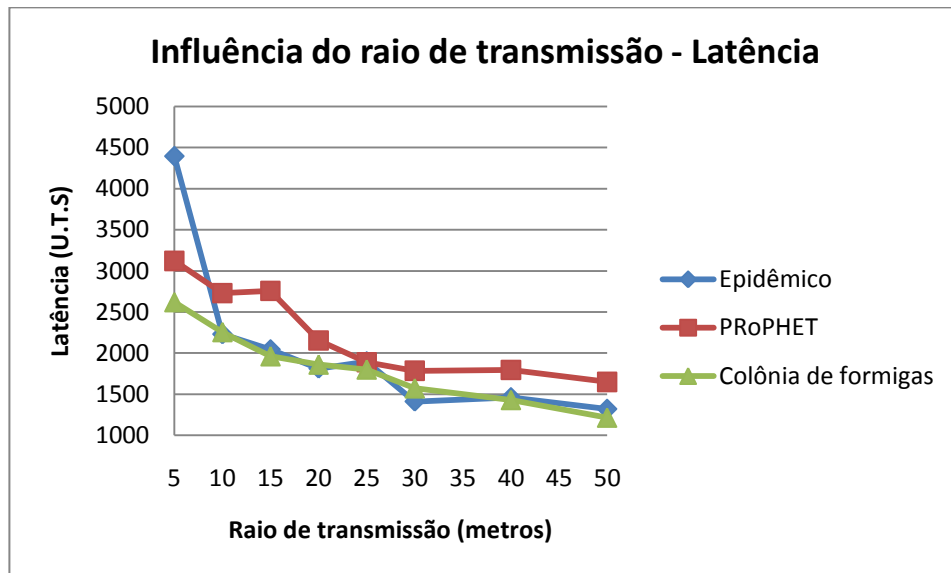


Figura 16 - Latência – Influência do raio de transmissão

A figura 16 apresenta uma latência semelhante entre os algoritmos epidêmico e colônia de formigas, a maior diferença está no raio de 5 metros, a partir disso eles possuem uma ligeira diferença nos tempos, essa diferença é dada por 12% em vantagem ao colônia de formigas e em comparação com o PProPHET o algoritmo colônia de formigas é 21% mais rápido na entrega de mensagens.

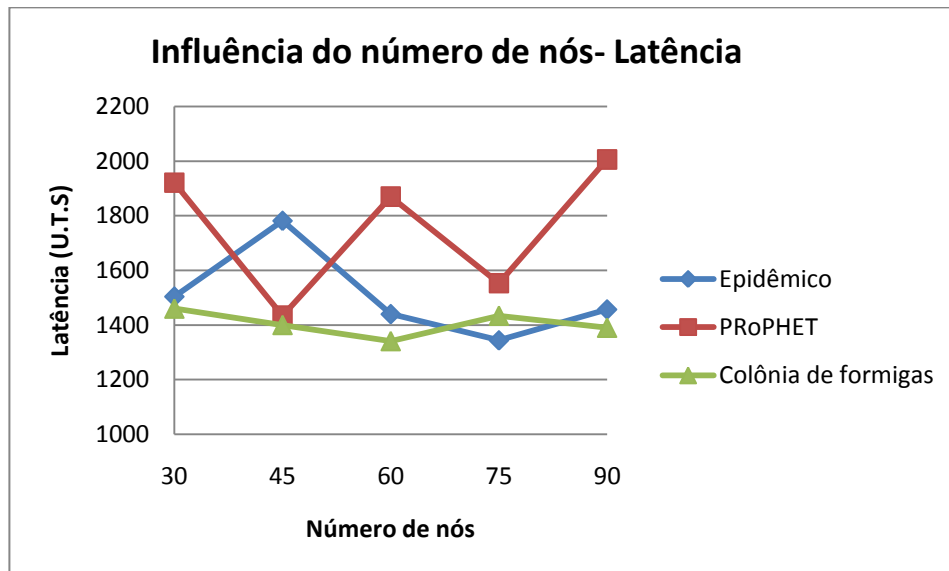


Figura 17 - Latência – Influência do número de nós

Pela análise da figura 17, novamente o algoritmo colônia de formigas se manteve mais estável, com pequenas variações a medida que varia-se os nós, essa diferença entre o algoritmo epidêmico é em média de 7% e 25% em relação ao PRoPHET, dessa forma pode-se observar que em situações de variação de raio de transmissão e número de nós o algoritmo colônia de formigas é mais rápido na entrega das mensagens.

4.1.4 Influência do Buffer

A capacidade de armazenamento dos dispositivos móveis é um fator que deve ser verificado, pois interfere nos envios das mensagens e na avaliação dos algoritmos utilizados.

Dessa forma a capacidade de *buffer* dos dispositivos móveis utilizados na simulação foi variado em 25,50,75,100 *Mbytes*, essa variação se aplica tanto para os agentes quanto para as viaturas, e o raio de transmissão ficou fixo em 50

metros, utilizando dispositivos mais robustos, os outros parâmetros de simulação foram os mesmos mostrados na tabela 3.

Novamente, os cálculos de *overhead* e de probabilidade de entrega foram avaliados, sendo que estes dão uma base sobre o comportamento dos dispositivos móveis e do cenário de simulação, provendo o entendimento sobre o custo de recursos energéticos e o número de mensagens entregues.

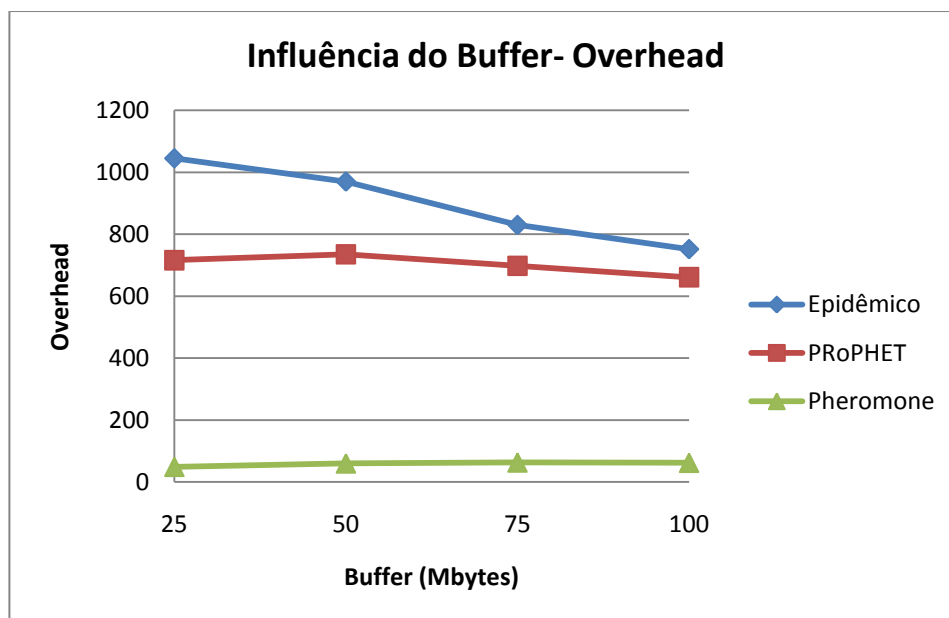


Figura 18 – Influência do *buffer* – *Overhead*

A figura 18, mais uma vez nos mostra a eficácia do algoritmo colônia de formigas em relação ao epidêmico e PProPHET, pela análise do *overhead*, assim o algoritmo epidêmico em média retransmite 14 vezes mais mensagens que o colônia de formigas e o PProPHET, retransmite 11 vezes mais mensagens, verificando dessa forma uma economia maior por parte do algoritmo colônia de formigas.

Esse fato, como ocorrido também nos gráficos acima, pode ser explicado pelo fato do algoritmo colônia de formigas efetuar menos saltos que os demais para entregar a mensagem, e o seu cálculo de probabilidade ser menor, gastando menos tempo para a transmissão, troca de informações entre os nós vizinhos, de modo que ele efetua em sua primeira movimentação uma análise dos possíveis nós que poderão chegar ao destino e retém essa informação.

Dessa maneira o algoritmo colônia de formigas ao passar do tempo, também adquire informações e efetua o cálculo do feromônio, assim ele fica mais tempo com a mensagem em seu *buffer*, porém transmite a mensagem para um nó em que a probabilidade de entrega é muito alta e assim diminui as retransmissões.

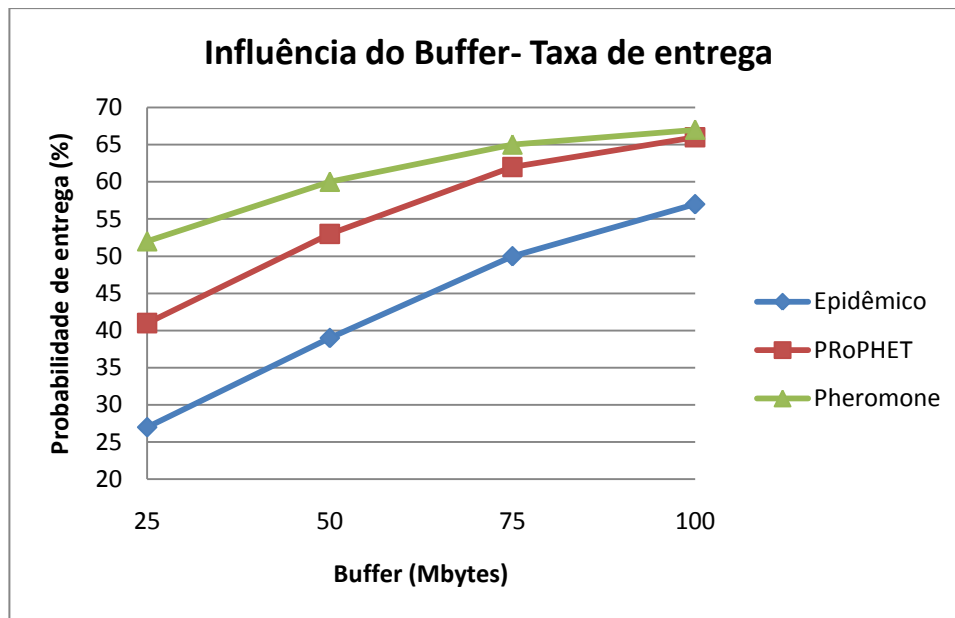


Figura 19 – Influência do *buffer* – Taxa de Entrega

Pela análise da figura 19, pode-se observar que a probabilidade de entrega do algoritmo colônia de formigas é superior ao epidêmico e PRoPHET,

de forma que a probabilidade de entrega varia entre 35 e 67% para o algoritmo colônia de formigas, 17 e 57% para o epidêmico e para o PProPHET, varia entre 31 e 66%, dessa forma obtendo a média das probabilidades, pode-se verificar que o algoritmo colônia de formigas entrega 32% a mais de mensagens que o epidêmico e 9% a mais que o PProPHET.

Sob a observação das probabilidades de entrega e do *overhead*, pode-se concluir que a capacidade de *buffer* dos dispositivos usados no resgate é um fator que deve ser levado em consideração, já que com um *buffer* de 5Mbytes e um raio de transmissão de 50 metros, utilizados na figura 11, a taxa de entrega do algoritmo colônia de formigas teve um salto de 40%, avaliando os mesmos 50 metros de alcance e na figura 19 os 100Mbytes de capacidade de *buffer*.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso propôs analisar algoritmos de roteamento para redes tolerante à atrasos (DTN), e que se apliquem as redes móveis ad hoc (MANET) utilizados em cenários emergenciais.

Os algoritmos analisados nesse trabalho foram, o algoritmo epidêmico, o algoritmo P_{Ro}PHET e o algoritmo bio-inspirado em colônia de formigas. O primeiro é um algoritmo de replicação de mensagens e os demais utilizam cálculos de probabilidade para a transmissão de mensagens para seus vizinhos.

Para a avaliação, foram feitas várias simulações que ao fim de cada retornavam relatórios sobre a situação dos algoritmos no cenário proposto, assim com os dados de mensagens criadas, mensagens entregues, mensagens repassadas, tempo de transmissão entre origem e destino, pode-se avaliar os algoritmos pela taxa de entrega, *overhead*, e latência.

Nas avaliações com variação do raio de transmissão, o algoritmo bio-inspirado obteve, em média, um melhor resultado na avaliação do *overhead*, e da taxa de transmissão. Com a variação do número de nós na rede, o algoritmo colônia de formigas se mostrou melhor na avaliação do *overhead*, porém obteve uma ligeira desvantagem em relação ao algoritmo P_{Ro}PHET na avaliação da taxa de entrega, o algoritmo P_{Ro}PHET obteve uma taxa de entrega 7% maior que o colônia de formigas .

Na avaliação da latência, o algoritmo colônia de formigas obteve melhores resultados que os demais, tanto na variação do raio de transmissão quanto na variação do número de nós, e por fim na avaliação em que o *buffer* é variado, novamente o algoritmo colônia de formigas obteve melhores resultados, obtendo uma taxa de entrega em média 32% maior que o epidêmico e 9% maior que o P_{Ro}PHET, e os algoritmos epidêmico e P_{Ro}PHET, obtiveram respectivamente um *overhead* de 14 e 11 vezes maior que o colônia de formigas.

Dessa forma, com as inúmeras variações do raio de transmissão, do número de nós da rede e da capacidade de *buffer* de cada dispositivo móvel, pode-se concluir que o algoritmo bio-inspirado em colônia de formigas obteve melhores resultados em todas avaliações do *overhead* e variações do *buffer*. Assim pode ser aplicado em situações de emergência, e que de preferência possuam dispositivos robustos com grande capacidade de *buffer* e longos alcances de transmissão.

5.1 Trabalhos Futuros

Com as avaliações feitas dos algoritmos nesse trabalho, surge a oportunidade de fazer avaliações com outros algoritmos para redes DTN, utilizar cenários diferentes, variações de métricas diferentes, bem como modelos de movimento diferentes, a fim de obter uma visão mais ampla do universo das redes emergenciais.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atanasio, A. & Li, L. T. **Algoritmos epidêmicos em computação distribuída**. Trabalho da Unicamp, 2007.

Becker, C. & Schiele G. New Mechanisms for Routing in Ad Hoc Networks. **4th Plenary Cabernet Wksp**. 2001.

Boice, J., Garcia-luna-aceves, J., Obraczka, K., On-Demand Routing in Disrupted Environments. **Proceedings of IFIP Networking 2007**, 155–166, 2007.

Boukerche, A. **Algorithms and protocols for wireless and mobile ad hoc networks**. 1ª Edição, Wiley, 2009.

Burguess, J., Gallagher, B., Jensen, D., Levine, B., MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks. **Proceedings of IEEE Infocom**, 2006.

Burns, B., Brock, O., & Levine, B., My routing and capacity building in disruption tolerant networks. **Proceedings of IEEE Infocom**, 2005.

Buttyán, L., Dóra, L., Félegyházi, M., Vajda, I., Barter trade improves message delivery in opportunistic networks, **Ad Hoc Networks**, 2009.

Careem, M.; De Silva, C.; De Silva, R.; Raschid, L. & Weerawarana, S. Demonstration of sahana: free and open source disaster management. In dg.o '07: **Proceedings of the 8th annual international conference on Digital government research**, 266-267. Digital Government Society of North America, 2007.

Di Caro, G.; Ducatelle, F. & Gambardella, L.M. AntHocNet: an ant-based hybrid routing algorithm for mobile ad hoc networks. In **Proceedings of Parallel Problem Solving from Nature (PPSN VIII)**, 3242 :461-470, 2004.

Dorigo, M.; Di Caro, G. & Gambardella, L. M. Ant algorithms for distributed discrete optimization. **Artificial Life**, 5(2):137-172, 1999.

DTNRG, **The Delay-Tolerant Networking Research Group**, <http://www.dtnrg.org>, 2002, Consultado em 09/06/2010.

Gupta, I.; Birman, K.; & Renesse, R. Fighting fire with fire: using randomized gossip to combat stochastic scalability limits. **Quality and Reliability Engineering International**, 18:165–184, 2002.

Hinton, D.; Klein, T. E. & Haner, M. An Architectural Proposal for Future Wireless Emergency Response Networks with Broadband Services. **Bell Labs Technical Journal** 10(2): 121–138, 2005.

IRTF, **Internet Research Task Force**, <http://www.irtf.org>, Consultado em 09/06/2010.

Iyengar, S. M.; Pattnaik, S. N. **Solving the MANET Routing Problem using Ant Colony Algorithm**. Tese de Doutorado, National Institute of Technology Rourkela, 2010.

Jain, S., Fall, K., & Patra, R. Routing in a delay tolerant network. **Proceedings of ACM SIGCOMM'04**, 2004.

Jung, C. F. **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro/RJ: Axcel Books do Brasil Editora, 2004.

Jasper, A. P. **Entendendo rede wirelles**. Disponível em www.vivaolinux.com.br/artigo/Entendendo-rede-wireless. Consultado em 21/06/2010.

Keranen, A. & Ott, J. Increasing reality for DTN protocol simulations. **Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, Tech. Rep**, 2007.

Keranen, A.; Ott, J.; Kärkkäinen, T. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. **Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, Tech. Rep**, 2009.

Kanchanasut, K.; Wongsardsakul, T.; Chansutthirangkool M.; Laouiti, A.; Tazaki, H. & Arefin, K. R. DUMBO II: A V-2-I Emergency Network. **ACM AINTEC'08**, 37-38, 2008.

Lindemann, C. & Waldhorst, O. P., Modeling Epidemic Information Dissemination on Mobile Devices with Finite Buffers*. **ACM SIGMETRICS'05**, 121-132, 2005.

Lindgren, A., Doria, A., Scheln, O., Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks. **Proceedings of the Fourth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2003)**, 2003.

Manoj, B. S. & Baker, A. H. Communication challenges in emergency response. **Communications of the ACM**, 50(3):51-53, 2007.

Musolesi, M. Adaptive Routing for Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks. **IEEE WoWMoM**. 2005.

Nain D. Integrated Routing and Storage for Messaging Applications in Mobile Ad Hoc Networks. **Proc. WiOpt**. 2003.

Oliveira, C. T. **Uma Proposta de Roteamento Probabilístico para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

OpenJUMP - The free, Java based and open source Geographic Information System for the World, <http://openjump.org>, consultado em 25/10/2010.

Panagakos, A., Vaios, A., Stavrakakis, I., On the Effects of Cooperation in DTNs. **Communication Systems Software and Middleware, 2007. COMSWARE 2007. 2nd International Conference on**, 1–6, 2007.

Poersch, A. M. **Localização de recursos em redes de emergência tolerantes a atrasos e desconexões**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

Rosa, R. L. **Análise da associação dos protocolos de roteamento AODV e DSR com o algoritmo Gossip, Sistema de Quorum e com um novo algoritmo de economia de energia, PWSave**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2009.

Schmitt, T.; Council, N. R.; Rao, R. R. & Eisenberg, J. **Improving Disaster Management: The Role of IT in Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery**. National Academy Press, Washington, DC, USA. 2007.

Shen, C. Interrogation-Based Relay Routing for Ad Hoc Satellite Networks. **IEEE Globecom**, '02. 2002.

Small, T. & Haas, Z. J. The Shared Wireless Infostation Model — A New Ad Hoc Networking Paradigm (or Where there is a Whale, there is a Way). **Mobihoc 2003**, June 1–3, 2003.

Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility. **IEEE PerCom, on the International Workshop on Intermittently Connected Mobile Ad hoc Networks (ICMAN)**, 2007.

Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. **To appear in ACM/IEEE Transactions on Networking**, 2008.

Tan, K., Zhang, Q. & Zhu, W. Shortest Path Routing in Partially Connected Ad Hoc Networks. **IEEE Globecom**, 2003.

Tennent, P., Hall, M., Brown, B., Chalmers, M., Sherwood S. Three Applications for Mobile Epidemic Algorithms. **ACM MobileHCI'05**, 223-226, 2005.

Vahdat, A. & Becker, D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. **Technical report, Duke University**, 2000.

Wang, Y. Erasure-Coding Based Routing for Opportunistic Networks. **SIGCOMM DTN Workshop**, 2005.

Weiwei, Wu & Xuanxi, Ning. Evaluation of the Reliability of Emergency Networks under Time Constraints. **International Conference on Automation Science and Engineering**, 259-263, 2006.

Zhang, Z., Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges, **IEEE Communication Surveys and Tutorials**, 2006.