



ANÁLISE DE UMA REDE SEM FIO AD HOC EM UM CENÁRIO DE MISSÃO MILITAR TÁTICA

Margarida Maria Bastos Vieira de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadores: Aloysio de Castro Pinto Pedroza
Miguel Elias Mitre Campista

Rio de Janeiro
Março de 2015

ANÁLISE DE UMA REDE SEM FIO AD HOC EM UM CENÁRIO DE MISSÃO
MILITAR TÁTICA

Margarida Maria Bastos Vieira de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
ELÉTRICA.

Examinada por:



Prof. Aloysio de Castro Pinto Pedroza, Dr.Ing.



Prof. Miguel Elias Mitre Campista, D.Sc.



Prof. Marcelo Gonçalves Rubinstein, D.Sc.



Prof. Igor Monteiro Moraes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO DE 2015

Souza, Margarida Maria Bastos Vieira de

Análise de uma Rede Sem Fio Ad Hoc em um Cenário de Missão Militar Tática/Margarida Maria Bastos Vieira de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XIV, 59 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: Aloysio de Castro Pinto Pedroza

Miguel Elias Mitre Campista

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Elétrica, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 54 – 59.

1. roteamento. 2. ad hoc. 3. rede militar.
4. missão tática. 5. veículo. 6. OLSR. 7.
AODV. 8. sem fio. I. Pedroza, Aloysio de Castro Pinto
et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE,
Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

*Agradeço a Deus.
Sem Ele eu não poderia ter
realizado esse trabalho!*

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela sua presença em minha vida, por me dar força interior para superar as dificuldades e me mostrar o caminho nas horas de dúvida.

Agradeço à minha mãe, pelo exemplo de vida que ela nos dá.

Agradeço a meus filhos, à minha irmã Cecília e à toda a minha família por todo carinho, compreensão e apoio que me deram em todos os momentos.

Agradeço à minha amiga Maureen que sempre me incentivou e acreditou em mim.

Agradeço a todos os amigos que fiz no Grupo de Teleinformática e Automação (GTA), que contribuíram positivamente para a conclusão desse trabalho. Uma menção especial de agradecimento aos colegas Alyson e Marcus.

Agradeço ainda a todos os professores que participaram da minha formação. Em especial, agradeço a meus orientadores, professor Aloysio de Castro Pinto Pedroza e professor Miguel Elias Mitre Campista, pelos conselhos, dedicação e paciência, durante a orientação no meu mestrado. Gostaria de agradecer também ao professor Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa do GTA/UFRJ.

Agradeço aos professores Marcelo Gonçalves Rubinstein e Igor Monteiro Moraes pela participação na banca examinadora.

Agradeço à encarregada do Grupo de Sistemas de Guerra Eletrônica (GSGE) do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), o qual eu faço parte, Capitão-de-Fragata (EN) Carla de Sousa Martins, por ter-me aberto as portas ao Mestrado.

Agradeço a meu orientador técnico naval, Fabian David Backx, pelo apoio sempre presente.

Agradeço à secretária do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ, Daniele, pela presteza no atendimento na secretaria do Programa.

Por fim, agradeço a todos as pessoas amigas que me ajudaram na realização desse trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE UMA REDE SEM FIO AD HOC EM UM CENÁRIO DE MISSÃO MILITAR TÁTICA

Margarida Maria Bastos Vieira de Souza

Março/2015

Orientadores: Aloysio de Castro Pinto Pedroza
Miguel Elias Mitre Campista

Programa: Engenharia Elétrica

Esta dissertação investiga o desempenho de um modelo de Rede Militar Tática sem fio *ad hoc*. Essa rede é estabelecida entre veículos quando estão posicionados em campo para realização de missões. Para cumprirem suas tarefas, a rede deve permitir que operem de forma cooperativa, fornecendo um serviço de entrega confiável e rápida da informação.

O cenário é composto por múltiplos veículos sendo um deles eleito líder da missão. O líder recolherá informações dos outros veículos considerando restrições de atraso. As possíveis comunicações nesse cenário particular devem ser avaliadas, incluindo a possibilidade dos veículos não estarem conectados diretamente.

Esse trabalho faz uma análise da melhor configuração da rede militar, ou seja, número máximo de veículos na rede e o melhor posicionamento dos mesmos na área da missão, que atenda aos requisitos das missões táticas de Localização Eletrônica. Tais requisitos são a latência da mensagem tática e o recebimento integral das tabelas de emissores pelo líder em um intervalo de tempo pré-definido.

Os resultados são obtidos por meio de simulações feitas com o simulador de redes NS-3 sobre cenários construídos que descrevem a inicialização de uma missão tática. Esses resultados mostram que, para atender os requisitos acima descritos, o número máximo de veículos na rede em uma missão tática é de 6 veículos. A comunicação indireta entre eles não é recomendada, ou seja, a melhor distribuição dos veículos na área da missão deve proporcionar um ambiente de vizinhança entre eles.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF AN AD HOC WIRELESS NETWORK IN A TACTICAL
MISSION MILITARY SCENARIO

Margarida Maria Bastos Vieira de Souza

March/2015

Advisors: Aloysio de Castro Pinto Pedroza

Miguel Elias Mitre Campista

Department: Electrical Engineering

This dissertation investigates the performance of a model for an *ad hoc* wireless Tactical Military Network. The communications network is established amongst vehicles when they are in the field fulfilling missions. The network shall allow cooperative operation of the vehicles providing sure and swift delivery of the information.

The scenario is composed of multiple vehicles with one of them elected as the mission's leader. The leader collects information from other vehicles and delay constraints must be considered. All possible communications in this scenario must be assessed.

This study makes an analysis of the best military network configuration in tactical missions, that is, the maximum number of vehicles in the network and the best positioning of them all in the mission area which will meet the Electronic Localization tactical missions requirements. Such requirements are tactical messages latency and complete receiving, by the mission leader, of the emitters table of each vehicle within a predetermined time interval.

Results are obtained by the means of simulations with the NS-3 on scenarios that describe the initialization of a tactical mission. Comparing them with previously mentioned requirements, one can conclude that the maximum amount of vehicles possible in the network is of six. Communications between vehicles which are not directly connected with each other is not advised, that is, the best distribution of vehicles in the mission area is one that provides a neighborhood environment between them.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Trabalhos Relacionados	4
1.4 Estrutura da Dissertação	5
2 Redes Ad Hoc Sem Fio	6
2.1 Introdução	6
2.2 Roteamento em redes <i>ad hoc</i>	7
2.3 Protocolo de roteamento OLSR	8
2.4 Protocolo de roteamento AODV	10
2.5 Comparação entre OLSR e AODV	12
2.6 Protocolo de Transporte TCP	13
2.7 Comentários	14
3 Modelo da Rede Militar Tática em Missões de Localização Eletrônica	15
3.1 Introdução	15
3.2 Arquitetura do Modelo da RMT	15
3.3 Especificação do Modelo da RMT	16
3.3.1 Inicialização da missão de LE	16
3.3.2 Requisitos da missão de LE	17
3.4 Comentários	19
4 Simulações	20
4.1 Introdução	20
4.2 Ambiente de Simulação	20
4.3 Métricas de Desempenho Utilizadas	22

4.4	Escolha do posto Mestre	23
4.5	Cenários de Simulação	24
4.5.1	Objetivos dos cenários criados	25
4.5.2	Descrição dos cenários	25
4.5.3	Cenário 1	27
4.5.4	Cenário 2	32
4.5.5	Cenário 3	38
4.5.6	Cenário 4	44
4.5.7	Cenário 5	47
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	50
5.1	Conclusões	50
5.2	Trabalhos Futuros	53
	Referências Bibliográficas	54

Lista de Figuras

1.1	Modelo de Rede Militar Tática <i>ad hoc</i> formada por veículos estacionados.	3
2.1	Ilustração de Comunicação por RF.	6
2.2	Inundação clássica (à esquerda) e Inundação OLSR (à direita).	8
2.3	A propagação do pacote RREQ.	11
2.4	O caminho do pacote RREP.	11
3.1	Ilustração de um local de missão.	16
3.2	Comunicação direta com o Mestre - Exemplo de arquitetura do modelo da RMT.	17
3.3	IEM (Intervalo entre Envios de Mensagens táticas) - TM (Tempo de envio da Mensagem tática).	19
4.1	Cenário 1 - Envio das TEs ao Mestre.	27
4.2	Latência Média da Rede - OLSR x AODV.	29
4.3	Latência Média da Rede - IEM (0,01 s) x IEM (0,1 s).	30
4.4	Pacotes de controle na rede - OLSR x AODV.	33
4.5	Latência Média da Rede - OLSRxAODV - HELLO (2 s).	34
4.6	Tempo médio de recebimento das TEs - OLSRxAODV - HELLO (2 s).	34
4.7	Tempo médio de recebimento das TEs - OLSRxAODV - IEM (0,01 s) - HELLO (2 s).	35
4.8	Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV - HELLO (2 s).	36
4.9	AODV - Média de Pacotes de Controle - HELLO (1 s) x HELLO (2 s).	38
4.10	Critério 1 de escolha do posto Mestre.	39
4.11	Critério 2 de escolha do posto Mestre.	39
4.12	Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV - IEM (0,01 s).	41
4.13	Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV - IEM (0,1 s).	42
4.14	Latência Média - OLSR - C1 x C2.	42
4.15	Latência Média - AODV - C1 x C2.	42
4.16	Taxa de Entrega Média - OLSR - C1 x C2.	43
4.17	Taxa de Entrega Média - AODV - C1 x C2.	43

4.18 O posto Cliente 3 fora do alcance do Mestre tenta enviar sua TE através de um posto vizinho.	44
4.19 OLSR x AODV - Latência Média dos postos distantes.	45
4.20 OLSR x AODV - Tempo médio de recebimento das TEs dos postos distantes.	46
4.21 Média de Pacotes de Controle - HELLO (2 s) x HELLO (4 s).	49

Lista de Tabelas

4.1	Parâmetros dos cenários.	26
4.2	Descrição dos campos das tabelas de resultados.	26
4.3	Resultados do OLSR com os dois valores de IEM (0,01 s x 0,1 s). . .	28
4.4	Resultados do AODV com os dois valores de IEM (0,01 s x 0,1 s). . .	28
4.5	Média de Pacotes de Controle com OLSR e AODV - IEM (0,01 s). . .	32
4.6	Média de Pacotes de Controle com OLSR e AODV - IEM (0,1 s). . .	32
4.7	Resultados dos OLSR e AODV com IEM (0,01 s) e HELLO (2 s). . .	33
4.8	Resultados dos OLSR e AODV com IEM (0,1 s) e HELLO (2 s). . .	34
4.9	Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV com IEM (0,01 s) e HELLO (2 s).	35
4.10	Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV com IEM (0,1 s) e HELLO (2 s).	36
4.11	Resultados do AODV - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,01 s). . .	37
4.12	Resultados do AODV - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,1 s). . .	37
4.13	AODV - Média de Pacotes de Controle - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,01 s).	38
4.14	AODV - Média de Pacotes de Controle - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,1 s).	38
4.15	Resultados do OLSR com C1 e C2 e IEM (0,01 s).	40
4.16	Resultados do OLSR com C1 e C2 e IEM (0,1 s).	40
4.17	Resultados do AODV com C1 e C2 e IEM (0,01 s).	41
4.18	Resultados do AODV com C1 e C2 e IEM (0,1 s).	41
4.19	Métricas dos postos distantes - OLSR x AODV com IEM (0,01 s). . .	44
4.20	Métricas dos postos distantes - OLSR x AODV com IEM (0,1 s) . . .	45
4.21	TEs dos postos distantes - resultados obtidos das simulações com os protocolos OLSR e AODV.	47
4.22	Resultados do OLSR - HELLO (2 s) x HELLO (4 s) - IEM (0,01 s). . .	48
4.23	Resultados do OLSR - HELLO (2 s) x HELLO (4 s) - IEM (0,1 s). . .	49

SIGLAS

ACK - *Acknowledgement*;

AODV - *Ad hoc On-demand Distance Vector*;

ARP - *Address Resolution Protocol*;

GLO - *Garantia da Lei e da Ordem*;

GPS - *Global Positioning System*;

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*;

IEM - *Intervalo Entre Mensagens*;

IFQ - *Interface Queue*;

IP - *Internet Protocol*;

ISM - *Industrial, Scientific and Medical*;

LE - *Localização Eletrônica*;

MAC - *Media Access Control*;

MAGE - *Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica*;

MSS - *Maximum Segment Size*;

MPR - *MultiPoint Relay*;

NS-3 - *Network Simulator-3*;

OLSR - *Optimized Link State Routing*;

RERR - *Route Error*;

RF - *Radio Frequência*;

RFC - *Request for Comments;*

RREP - *Route Reply;*

RREQ - *Route Request;*

RMT - *Rede Militar Tática;*

SISTAC/Bda - *Sistema Tático de Comunicações versão Brigada;*

SMR - *Sistema MAGE Radar;*

TC - *Topology Control;*

TCP - *Transmission Control Protocol;*

TE - *Tabela de Emissores;*

TTL - *Time-To-Live;*

UDP - *User Datagram Protocol;*

VMT - *Viatura Militar Terrestre.*

Capítulo 1

Introdução

Apesar do desenvolvimento de sistemas de comunicações cabeados cada vez mais eficientes, propiciando maior largura de banda e menor taxa de erros, existem cenários nos quais tais sistemas não podem ser empregados. Isso ocorre em situações tais como: operações de Garantia da Lei e da Ordem (GLO), operações militares dinâmicas e operações em locais recém atingidos por catástrofes onde a infra-estrutura de telecomunicações foi destruída [1]. Para esses cenários, quando as opções de meios de comunicação são restritas, uma solução é a utilização de redes de comunicação sem fio.

As redes sem fio têm vivido um grande avanço tecnológico e hoje em dia serviços antes disponíveis somente às redes cabeadas são também oferecidos a essas redes [2]. Elas formam um sistema de comunicação onde as estações comunicam-se entre si através do ar em canais de frequência de rádio, infravermelho ou laser, sem a necessidade da presença de fios ou cabos [3].

Esse capítulo está estruturado como se segue: a Seção 1.1 apresenta o modelo de uma rede militar para emprego em missões táticas de Localização Eletrônica; a Seção 1.2 descreve o objetivo dessa dissertação; a Seção 1.3 descreve dois trabalhos realizados com o objetivo de avaliar o desempenho de sistemas de comunicações sem fio em cenários militares e a Seção 1.4 apresenta a estrutura dessa dissertação.

1.1 Motivação

As tecnologias sem fio há muito tempo chegaram ao meio militar brasileiro. Existem aplicações militares onde é impossível a utilização de fios e cabos como, por exemplo, as comunicações a partir de aviões e as comunicações durante treinamento de soldados em floresta. Nessas situações, uma rede sem fio independente de um controle central fixo se torna uma necessidade [4].

Nesse contexto, torna-se relevante a investigação de um modelo de rede para emprego em operações táticas. Essa rede, denominada a partir de agora como Rede

Militar Tática (RMT), é uma rede proprietária tipo *ad hoc* podendo ser instalada em diferentes tipos de plataformas fixas (*containers*, veículos estacionados, ...) permitindo que participem de forma cooperativa de missões táticas de Localização Eletrônica (LE).

Uma missão de LE tem por objetivo estimar a localização de emissores radar presentes em um determinado espectro eletromagnético local. Para que essa missão se realize, as plataformas são integradas do Sistema MAGE Radar (MAGE - Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica) [5].

O Sistema MAGE Radar (SMR) é um sistema tático que monitora um determinado ambiente eletromagnético à procura de emissões radar. Uma vez uma emissão de interesse interceptada, seus dados são armazenados em uma tabela de emissores (TE) presente ao interior do sistema, com o objetivo de determinar a localização do emissor dessa emissão. As emissões radar são classificadas segundo uma base de dados presente ao interior do sistema. Os pulsos com características semelhantes são agrupados de modo a identificar plataformas emissoras semelhantes.

No modelo da RMT, as plataformas são veículos militares terrestres estacionados (VMTs). Esses veículos integrados do SMR participam em conjunto de missões de LE com o objetivo de fazer a segurança do espaço aéreo brasileiro. Para que possam trabalhar de forma cooperativa, os VMTs compartilham a RMT que é formada entre eles quando estão posicionados em campo para a realização da missão.

As missões de LE são realizadas em todo território nacional e em grandes áreas abertas. O posicionamento dos VMTs na área da missão é feito de forma aleatória e com grandes distâncias entre eles.

Na RMT, cada VMT é um posto MAGE fixo. Um deles é eleito líder da missão e é identificado como posto MAGE Mestre, os postos restantes formam os postos MAGE Cliente (Figura 1.1).

1.2 Objetivo

Essa dissertação apresenta um modelo de Rede Militar Tática (RMT) *ad hoc* que utiliza os protocolos de roteamento OLSR e AODV quando empregada em missões táticas de LE de vigilância do espaço aéreo brasileiro.

O objetivo desse trabalho é de avaliar a melhor configuração dessa rede militar numa missão de LE de forma a atender a seus requisitos. Para a realização dessa análise, simulações são feitas com o auxílio do simulador de redes NS-3 sobre cenários construídos que descrevem a inicialização de uma missão de LE onde parâmetros, tais como a distância entre veículos, são modificados de acordo com o objetivo de cada cenário.

Os resultados obtidos são confrontados com os requisitos de uma missão de LE,

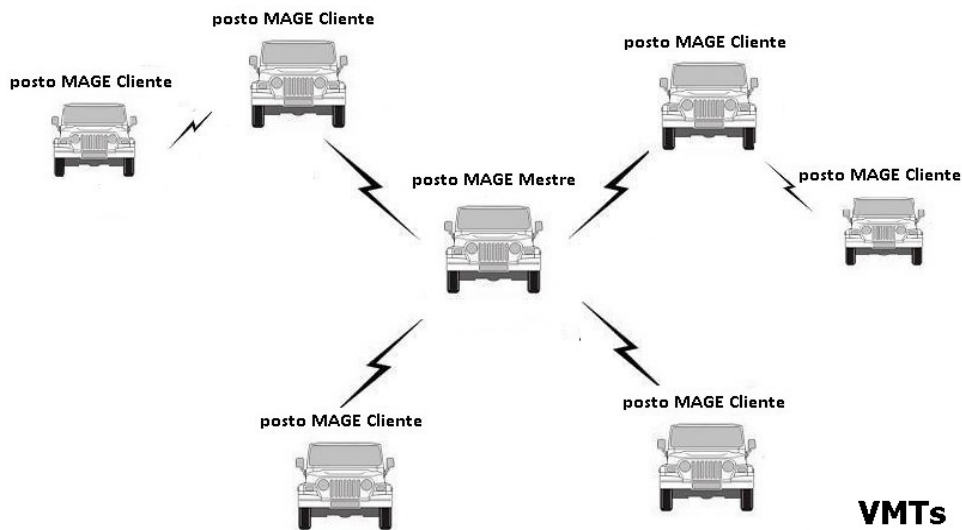


Figura 1.1: Modelo de Rede Militar Tática *ad hoc* formada por veículos estacionados. [6]

requisitos esses que fazem parte da especificação do modelo da RMT. Esses requisitos são a latência da mensagem tática, que deve ser em torno de milissegundos devido ao curto tempo de vida da mensagem tática, e o recebimento integral das tabelas de emissores dos postos MAGE Cliente pelo posto MAGE Mestre. Cada tabela deve ser recebida no máximo em 10 s para que suas informações sejam consideradas válidas.

Entre as simulações realizadas, é verificado o número máximo de postos MAGE na RMT durante uma missão de LE que atenda aos requisitos acima descritos. Numa tentativa de aumentar a quantidade de postos na rede, permitindo que um número maior de postos participe das missões e aumente o alcance da RMT, testes são feitos alterando o valor de alguns atributos dos protocolos de roteamento.

No intuito de determinar a melhor distribuição dos postos na rede, é verificada a possibilidade de comunicação indireta entre eles durante as missões, comparando os resultados obtidos com os requisitos descritos. A validação desse tipo de comunicação permite aumentar o alcance da RMT na missão de LE.

Como os postos MAGE são idênticos, equipados com o mesmo Sistema MAGE Radar (SMR), qualquer posto se encontra apto a ser Mestre em uma missão de LE. Nesse sentido, simulações são realizadas com dois critérios diferentes de escolha do posto Mestre. Comparando os resultados obtidos com cada critério, é possível avaliar o impacto da posição do Mestre nas métricas.

Por fim, a quantidade de pacotes de controle gerada por cada protocolo é observada: a RMT deve interferir o mínimo possível com seus sinais no funcionamento do SMR, sistema esse fundamental à realização da missão de LE.

1.3 Trabalhos Relacionados

São apresentados a seguir dois trabalhos realizados com o objetivo de avaliar o desempenho de sistemas de comunicações sem fio em cenários militares.

Ivana C. M. Pereira em seu trabalho [4], faz a análise de redes móveis *ad hoc* em cenários em que grupos de soldados, cada qual com seus comunicadores pessoais formando uma rede *ad hoc*, tomam de assalto uma posição inimiga. Uma das suas propostas é de avaliar o impacto da mobilidade dos soldados no funcionamento dos protocolos de roteamento AODV, DSDV e DSR sobre a rede *ad hoc* em questão. A rede analisada apresenta um número limitado de nós próximos, com reduzida velocidade e baixa taxa de envio de pacotes. Entre as observações feitas por Ivana, ela cita que o aumento na taxa de transmissão da rede provoca uma sobrecarga do tráfego no nó que representa a central de comando da operação militar. Segundo ela, isso ocorre devido à característica do cenário criado de concentração de dados em um único destino. Ela conclui que congestionamentos na rede causam sérios prejuízos ao desempenho do AODV, que inicia procedimentos de descoberta de rota devido à dificuldade de acesso ao meio para a transmissão dos pacotes de dados, sobrecarregando mais ainda o tráfego na rede. Ela cita que o protocolo DSR é o mais indicado para o cenário de mobilidade, onde ocorrem falha de enlace, devido ao seu modo de operação sob demanda e sua característica de múltiplas rotas. Já o protocolo DSDV, segundo Ivana, não é indicado para esse tipo de rede devido à sua característica pró-ativa de busca de novas rotas quando ocorre falha de enlace.

Silva et al. [7] fazem uma avaliação de desempenho de tráfego multimídia em Sistema Tático de Comunicações versão Brigada do Exército Brasileiro (SISTAC/Bda) composto de estações de transmissão com baixa mobilidade. Segundo Silva et al., o principal objetivo desse sistema é permitir a transmissão de aplicações de transferência de dados, de voz e de videoconferência através de enlaces ponto a ponto com alta capacidade de tráfego. Utilizando uma ferramenta de simulação, os autores identificam o impacto de parâmetros de camada de enlace e aplicação no desempenho do sistema. Experimentos numéricos foram projetados para avaliar a taxa de descarte de pacotes e a vazão média em um cenário típico de um SISTAC/Bda. Segundo Silva et al., entre os resultados obtidos, a vazão média de pacotes requerida pelas unidades de combate foi atendida a partir do comprometimento da taxa de perda de pacotes, a qual é fortemente degradada em relação aos requisitos típicos de serviço.

O estudo apresentado nessa dissertação diferencia-se dos estudos acima mencionados em relação à natureza da aplicação da rede, sua topologia e as análises realizadas. Nesse trabalho é apresentado um modelo teórico de rede *ad hoc* a ser empregada numa aplicação tática de Localização Eletrônica (LE). A topologia dessa rede é formada por postos fixos e separados por grandes distâncias. O objetivo prin-

principal das análises é de determinar a melhor configuração dessa rede que atenda aos requisitos da aplicação tática, contribuindo para um melhor desempenho da mesma. Nesse sentido, simulações são feitas para determinar o número máximo de postos na rede e o melhor posicionamento dos mesmos na área da missão durante a missão de LE. Por fim, é identificado o protocolo de roteamento que sobrecarrega menos a rede com seus pacotes de controle, deixando o meio de comunicação mais livre para as mensagens da aplicação tática e para o Sistema MAGE Radar (SMR).

1.4 Estrutura da Dissertação

Esse trabalho está estruturado como se segue: o Capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos com uma breve descrição de redes *ad hoc*, dos protocolos de roteamento OLSR e AODV e do protocolo de transporte TCP, utilizados nas simulações; o Capítulo 3 apresenta o modelo da RMT em missões de LE com suas arquitetura e especificação; o Capítulo 4 apresenta o ambiente de simulação utilizado nas análises, os cenários construídos para a avaliação dos protocolos de roteamento e os resultados das simulações realizadas e, por último, o Capítulo 5 conclui esse trabalho e apresenta as possíveis direções futuras.

Capítulo 2

Redes Ad Hoc Sem Fio

2.1 Introdução

Entre as redes sem fio, as redes *ad hoc* são muito investigadas e estão em grande desenvolvimento devido às vantagens que oferecem em relação às tradicionais. Elas podem ser instaladas em lugares como prédios históricos onde a passagem de cabos é proibida, em lugares sem energia elétrica e de difícil acesso, em situações onde a instalação de uma rede cabeada é muito onerosa, em situações de emergência como terremoto e em operações militares onde não é possível o uso de fios e cabos nas comunicações [8] (Figura 2.1).

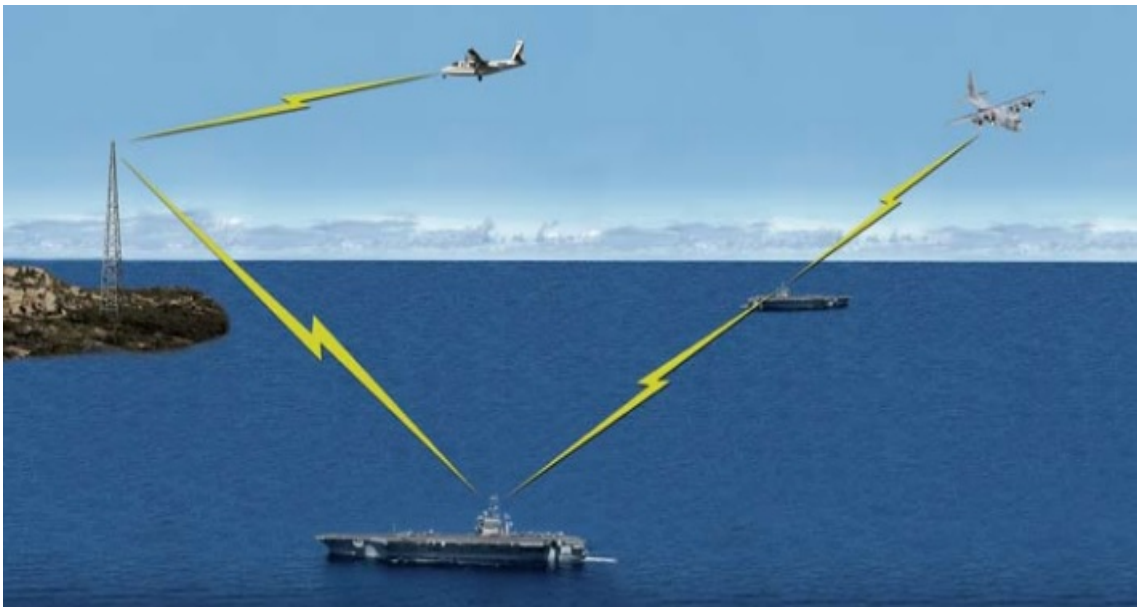


Figura 2.1: Ilustração de Comunicação por RF.
[9]

Os usuários das redes *ad hoc* que se encontram dentro da sua área de cobertura podem se conectar à ela onde quer que estejam e podem mudar de localização sempre

que desejarem. Elas são também escaláveis, permitindo facilmente a entrada e a saída de um dispositivo da rede.

Nas redes *ad hoc* não existe uma relação de dependência a nenhum controle central [10], as estações comunicam-se diretamente entre si. São redes formadas em qualquer lugar mesmo em locais onde não existe uma infra-estrutura de rede.

Mas as redes sem fio apresentam algumas desvantagens em comparação com as redes cabeadas, tais como: taxa de erros elevada, maior interferência de outras fontes, maior atenuação do sinal durante o percurso fonte-destino e não possuem o mesmo nível de segurança das redes cabeadas devido ao meio de comunicação ser em difusão. Todos esses desafios relacionados às redes sem fio em geral afetam também as redes *ad hoc*, que além de tudo devem lidar com a mobilidade dos nós, no caso de redes móveis.

Esse capítulo está estruturado como se segue: a Seção 2.2 define brevemente os protocolos pró-ativos e reativos; a Seção 2.3 descreve o funcionamento do protocolo OLSR; a Seção 2.4 descreve o funcionamento do protocolo AODV; a Seção 2.5 compara os protocolos de roteamento OLSR e AODV; a Seção 2.6 resume as características mais importantes do protocolo TCP e a Seção 2.7 faz uma breve reflexão sobre a importância das redes *ad hoc* no meio militar.

2.2 Roteamento em redes *ad hoc*

O controle e a manutenção de uma rede *ad hoc* é distribuído entre os nós da rede. A conectividade entre cada par de nós é independente das outras existentes na rede, de maneira que, se um enlace falhar, seja por falha de conectividade ou falha do próprio dispositivo, os outros enlaces continuam válidos, evitando assim que o desempenho da rede seja afetado.

Os protocolos de roteamento para redes *ad hoc* tradicionais são classificados em pró-ativos e reativos [11]:

- Nos protocolos pró-ativos os nós possuem a topologia completa da rede, ou seja, eles possuem em suas tabelas de roteamento rotas para todos os outros nós da rede. Para atualizar suas tabelas, eles trocam informações sobre a rede periodicamente entre si [12]. A principal vantagem desses protocolos é a disponibilidade das rotas quando os nós quiserem se comunicar [13]. As principais desvantagens são o uso excessivo de banda passante com mensagens de controle (sobrecarga de controle) e grande processamento nos nós. Faz parte desse grupo o protocolo OLSR (*Optimized Link State Routing*).
- Nos protocolos reativos as rotas são descobertas sob demanda, ou seja, um nó só conhece a rota para um destinatário quando ele precisa se comunicar

com ele. Essa característica sob demanda dos protocolos reativos aumenta a latência de envio do pacote de dados mas diminui a sobrecarga da rede. Faz parte desse grupo o protocolo AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*).

2.3 Protocolo de roteamento OLSR

O OLSR, descrito na *RFC 3626* [14], é um protocolo de roteamento pró-ativo baseado em estado de enlace, proposto para redes *ad hoc* móveis.

Nos protocolos pró-ativos, os nós declaram a toda rede quem são seus vizinhos. Os nós que recebem essas informações as repassam aos seus nós vizinhos que, por sua vez, fazem a mesma coisa. Neste mecanismo, conhecido como inundação (*flooding*), como os nós recebem várias vezes uma mesma informação, a quantidade de pacotes de controle desnecessária na rede é grande.

O protocolo OLSR usa uma técnica diferente. Sua inovação reside na forma de economizar recursos de rádio no momento da difusão de suas mensagens de controle. Isso é possível com a utilização dos nós *MPRs* (*MultiPoint Relays* [15]): cada nó escolhe alguns de seus nós vizinhos, chamados de nós *MPRs*, para retransmitir suas mensagens em caso de difusão. Dessa forma, todos os nós da rede são alcançados por um número reduzido de repetições [16] (Ver os nós em negrito na Figura 2.2 abaixo à direita).

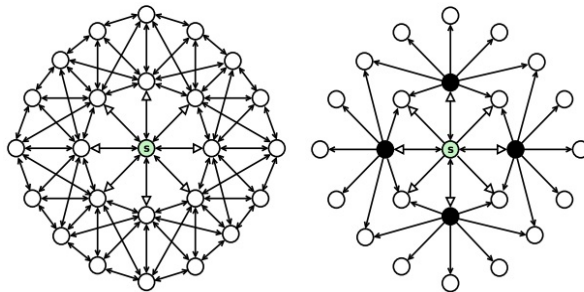


Figura 2.2: Inundação clássica (à esquerda) e Inundação OLSR (à direita).
[17]

Os *MPRs* são nós que são selecionados por seus vizinhos a um salto de distância para difundir mensagens sobre informações da rede. Eles são capazes de alcançar todos os vizinhos de dois saltos [18] [19].

Quando um nó recebe uma mensagem a ser redifundida, ele olha nessa mensagem se ele é um *MPR* daquele nó que a enviou. Caso ele seja, ele redifunde a mensagem.

Como o protocolo OLSR está sempre trocando informações, a utilização de nós *MPRs* reduz consideravelmente a sobrecarga gerada pelo tráfego de controle [17]. O uso de nós *MPRs* é a principal vantagem do OLSR com relação aos outros protocolos

pró-ativos que utilizam o mecanismo clássico de inundação onde cada nó retransmite cada uma das mensagens recebidas pela primeira vez.

Nos protocolos pró-ativos, mensagens de controle periódicas devem ser utilizadas para a manutenção da vizinhança e das tabelas de roteamento. O OLSR utiliza dois tipos de mensagens para a realização dessas funções: HELLO e TC (*Topology Control*).

HELLO

A mensagem de HELLO enviada por um nó, tem por objetivos conhecer a sua vizinhança [16], sinalizar os seus nós *MPRs* e divulgar informações sobre o estado de seus enlaces.

À recepção de uma mensagem HELLO, cada nó em particular calcula seu conjunto de nós *MPRs*: esse conjunto é formado por um número mínimo de vizinhos a um salto que alcance um maior número de vizinhos a dois saltos [20].

Segundo a configuração padrão do protocolo OLSR, as mensagens de HELLO são enviadas periodicamente por cada nó a cada 2 s em *broadcast* a seus vizinhos a um salto, mas nunca devem ser retransmitidas por eles [21].

TC - *Topology Control*

O objetivo da mensagem TC é de divulgar a topologia da rede.

Cada nó envia periodicamente uma mensagem TC em *broadcast* com informações sobre o estado de seus enlaces e a lista de seus vizinhos selecionados como *MPR*. À recepção dessa mensagem, cada nó tem conhecimento da topologia da rede e constrói ou atualiza sua tabela de roteamento que contém rotas para qualquer destinação dentro da rede [22].

Segundo a configuração padrão do protocolo OLSR, as mensagens TC são enviadas periodicamente por cada nó a cada 5 s em *broadcast* mas somente os seus vizinhos *MPRs* podem a redifundir, evitando assim uma inundação de mensagens repetidas [16]. Para que essa mensagem seja redifundida, o valor *TTL* (*Time-To-Live*) no cabeçalho dessa mensagem é 255, o valor máximo.

Tabelas de Roteamento

As tabelas de roteamento são construídas e atualizadas com base nas informações contidas nas mensagens de HELLO e TC.

As mensagens de HELLO contêm informações dos vizinhos de um salto. Para os nós mais distantes, são usadas as informações contidas nas mensagens TC que fornecem a cada nó a topologia da rede [23].

Agregação de Mensagens

Para diminuir a sobrecarga da rede, mais de uma mensagem de controle podem ser agregadas em um único pacote IP para reduzir o número de acessos ao meio [24]. Assim, as mensagens de HELLO e TC podem ser encapsuladas em um mesmo pacote, permitindo a emissão de várias mensagens ao mesmo tempo na rede.

Porém, o tratamento e o método de propagação dessas mensagens continuam próprios à categoria de cada uma delas. Por exemplo, as mensagens HELLO não são retransmitidas enquanto que as mensagens TC são retransmitidas pelos nós *MPRs* [25].

Todas as mensagens de controle do OLSR são enviadas sobre UDP (*Datagram Protocol*), utilizando a porta de número 698.

2.4 Protocolo de roteamento AODV

Segundo a *RFC* 3561 [26] publicada em 2003, o protocolo AODV destina-se a ser usado por nós móveis em redes *ad hoc*.

Baseado em vetor de distância, ele fornece um serviço de descoberta de rotas sob demanda, ou seja, determina uma rota para um destino apenas quando um nó quer enviar um pacote para aquele destino [27]. O cálculo de rotas sob demanda tem como intenção reduzir o número de inundações na rede, evitando o desperdício de banda e minimizando o uso de memória e processamento nos nós que atuam como roteadores.

O AODV armazena uma entrada na tabela de roteamento para cada destino, ou seja, suas rotas informam apenas o próximo salto até um dado destino e a distância em número de saltos [15]. Toda rota armazenada na tabela possui um tempo de vida associado, também chamado de *TTL* (*Time-to-Live*) [28], se não é utilizada neste período de tempo é excluída da tabela.

A tabela de roteamento em cada nó é construída a partir da troca de mensagens enviadas via *UDP* (*User Datagram Protocol*) pela porta 654. As rotas são sem *loops* devido ao uso de número de sequência.

Em seu modo de operação, o AODV utiliza os mecanismos de descoberta de rotas e manutenção de rotas:

Mecanismo de Descoberta de Rotas

Quando um nó fonte deseja se comunicar com um outro nó ao qual ele não conheça a rota, inicia-se um processo de descoberta de rota (Figura 2.3) [29].

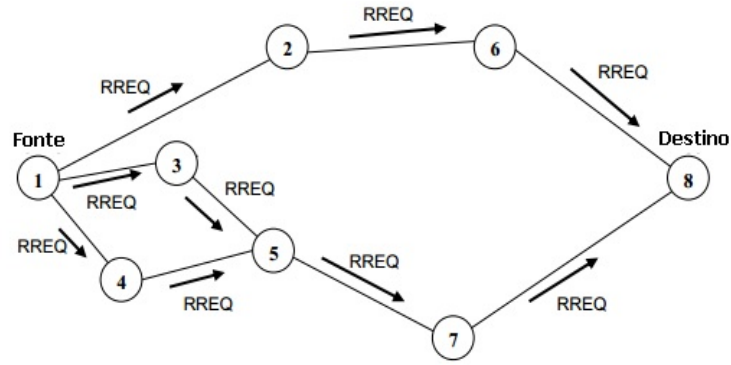


Figura 2.3: A propagação do pacote RREQ.

[28]

O nó fonte envia em *broadcast* (*difusão*) uma mensagem de *RREQ* (*Route Request*) a seus vizinhos. Caso um vizinho não seja o destino desejado ou não possua uma rota válida para o destino, ele coloca na sua tabela de roteamento uma entrada com a rota que leva ao nó fonte, aquele que enviou a mensagem de *RREQ* e incrementa o campo *hop cnt* (*contador de saltos*). Feito isso, ele repassa a mensagem de *RREQ* aos seus vizinhos. Este procedimento se repete a cada nó, até que a mensagem de *RREQ* alcance o seu destino ou a um nó que possua uma rota para o destino procurado. Quando isso acontece, o caminho para o nó fonte já está formado, e o nó destino ou o nó possuidor da rota solicitada, envia uma mensagem de *RREP* (*Route Reply*) em *unicast* a seu vizinho pelo qual ele recebeu a mensagem de *RREQ* [30] (Figura 2.4).

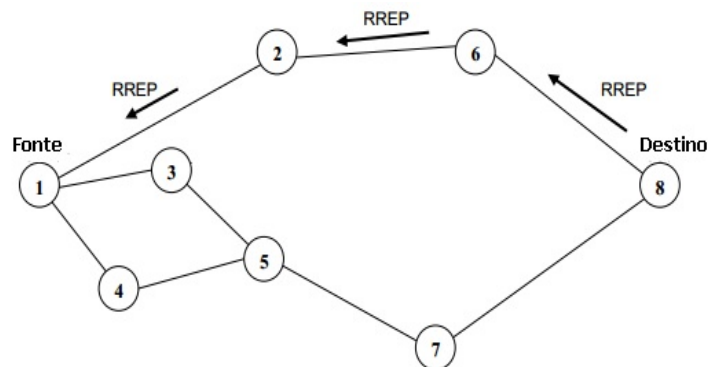


Figura 2.4: O caminho do pacote RREP.

[28]

Em cada nó onde a mensagem de *RREP* passa, o nó coloca na sua tabela de roteamento uma entrada com a rota que leva ao nó destino. Quando a mensagem de *RREP* chega à fonte, a rota para o destino já está formada e a fonte pode começar enviar os seus pacotes.

Mecanismo de Manutenção de Rotas

O objetivo desse mecanismo é de validar as rotas contidas nas tabelas de roteamento dos nós. Periodicamente os nós enviam em *broadcast* mensagens de HELLO a seus vizinhos com a finalidade de informar que está ativo e detectar os seus vizinhos ativos. Dessa forma verifica-se a existência e ruptura de rotas.

Todo nó que recebe uma mensagem de HELLO atualiza a rota relativa ao vizinho que lhe enviou a mensagem. Se um nó não recebe uma mensagem de HELLO de um nó vizinho, ele considera que o enlace entre eles foi interrompido. Ele envia à rede uma mensagem de *RERR* (*Route Error*) informando a falha de enlace, fazendo com que os outros nós atualizem suas tabelas de roteamento. Se a rota estiver sendo usada, um novo processo de busca de rota é inicializado.

2.5 Comparação entre OLSR e AODV

OLSR

- Pró-ativo;
- Esquema a estado de enlace;
- Rotas mantidas em tabela de roteamento;
- Livre de *loops* na rede;
- Conhecimento total da rede;
- Latências baixas devido ao conhecimento da topologia da rede e
- Pontos fracos: (i) alta taxa de sobrecarga de controle na rede, (ii) tabelas de roteamento maiores contendo rotas para todos os nós da rede (iii) alto uso de largura de banda para receber as atualizações da topologia de rede.

AODV

- Reativo;
- Esquema a vetor de distância;
- Rotas mantidas em tabela de roteamento;
- Livre de *loops* na rede;
- Não conhece e nem precisa conhecer a topologia da rede;
- Tabelas de roteamento menores;

- Baixo processamento computacional nos nós devido ao tamanho reduzido das tabelas de roteamento;
- Baixa sobrecarga de controle - usa menos recursos da rede;
- Largura de banda baixa para manter as rotas e
- Ponto fraco - tempo de latência importante devido à descoberta de rota.

2.6 Protocolo de Transporte TCP

O TCP (*Transmission Control Protocol*), documentado na *RFC 793* [31], é um protocolo da camada de transporte que oferece à camada de aplicação um serviço confiável de entrega dos dados ao destino, na ordem em que eles foram enviados e sem erros (íntegros) [32] [33] [34]. Para oferecer esse serviço, ele é orientado à conexão, ou seja, a transferência dos dados é precedida de uma conexão de rede [35].

A conexão é feita entre as estações fonte e destino e durante essa fase elas trocam segmentos para a definição de parâmetros. Estabelecida a conexão as estações podem se comunicar de forma segura: o TCP solicita à fonte a retransmissão de pacotes de dados não recebidos ou recebidos por ele com erro. Esse sistema de retransmissão dos dados acrescenta confiabilidade ao serviço do TCP [36]. Ao término da comunicação é necessário desligar a conexão: tanto a fonte como o destino pode solicitar o fim da conexão [37], porém ela deve ser feita dos dois lados.

O TCP cuida também dos controles de fluxo e de congestionamento [38]: (i) o controle de fluxo diminui a taxa de transmissão impedindo que um transmissor rápido sobrecarregue um receptor lento com um volume de dados maior do que ele possa manipular e (ii) o controle de congestionamento evita a saturação dos enlaces da rede quando fontes enviam dados acima da capacidade da rede de tratá-los. Existem várias versões do TCP com diferentes mecanismos de controle de congestionamento, tais como *Tahoe*, *Reno* e *NewReno*.

MSS – Maximum Segment Size

O *MSS* define o tamanho máximo de dados em *bytes* que pode ser transmitido em um segmento TCP não fragmentado [39]. Ele é negociado durante a conexão: a fonte tenta utilizar o maior tamanho de segmento não fragmentado possível para a transferência de seus dados, dentro dos limites da rede, da fonte e do destino. Se o segmento for fragmentado ele recebe um novo cabeçalho TCP e IP, prejudicando o desempenho do sistema, portanto, isso deve ser evitado.

2.7 Comentários

No meio militar, as redes *ad hoc* estão presentes em diversos sistemas modernos de comunicações. Elas podem ser montadas de modo rápido em qualquer lugar. Além disso, os nós da rede, presentes em veículos como aviões, viaturas terrestres e navios, podem entrar e sair da rede a qualquer momento e se mover sem comprometer a operação da rede.

As redes *ad hoc*, com suas características de flexibilidade, rapidez de instalação e autonomia, são ideais às operações militares de natureza dinâmica que não podem depender de uma infraestrutura física de rede, como as missões de Localização Eletrônica (LE).

Capítulo 3

Modelo da Rede Militar Tática em Missões de Localização Eletrônica

3.1 Introdução

O objetivo do modelo da Rede Militar Tática (RMT) em estudo é permitir que os postos MAGE (Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica) participem em conjunto de missões de Localização Eletrônica (LE). A RMT deve fornecer, via enlaces rádio, transmissão de dados através de longas distâncias, com entrega confiável e rápida da informação ao seu destino.

Esse capítulo está estruturado como se segue: a Seção 3.2 descreve a arquitetura do modelo da RMT; a Seção 3.3 descreve a especificação do modelo da RMT e a Seção 3.4 fecha o capítulo com alguns comentários complementares.

3.2 Arquitetura do Modelo da RMT

A arquitetura é formada por postos MAGE fixos distribuídos na área da missão e separados por grandes distâncias entre eles formando uma topologia de rede praticamente estática. A missão de LE é realizada em áreas abertas e planas de grandes dimensões, não urbanas e com baixas densidade de ocupação populacional e cobertura arbórea (Figura 3.1).

A princípio, a distribuição dos postos na área da missão é desconhecida. Testes com o NS-3 investigam o melhor posicionamento dos postos na área indicando se eles devem ser necessariamente vizinhos ou não durante a missão de LE.

Todos os postos MAGE são equipados do mesmo Sistema MAGE Radar (SMR). Um deles é eleito líder da missão e é identificado como posto MAGE Mestre. Os postos restantes são identificados como postos MAGE Cliente (Figura 3.2).

Durante a missão, o Mestre pode recrutar a qualquer momento dois ou mais pos-



Figura 3.1: Ilustração de um local de missão.
[40]

tos MAGE Cliente para participar do cálculo da LE de emissores radar considerados de interesse. Para que a LE tenha êxito, os postos MAGE devem ter conectividade entre si ao longo da missão.

3.3 Especificação do Modelo da RMT

A especificação do modelo da RMT descreve a inicialização da missão de LE e seus requisitos.

3.3.1 Inicialização da missão de LE

Os veículos militares (VMTs) partem de suas unidades militares em direção ao local da missão. Quando estão posicionados em campo para o início da missão, eles são denominados postos MAGE. Cada posto liga o seu equipamento de rede e o seu SMR. Enquanto a RMT está sendo formada entre os postos o SMR monitora o espectro eletromagnético local à procura de emissões radar. As emissões interceptadas são armazenadas na tabela de emissores (TE) presente ao interior do sistema. Uma vez esse procedimento realizado, os postos enviam suas TEs ao posto MAGE Mestre via a RMT.

O posto MAGE Mestre de posse das TEs dos postos MAGE Cliente determina

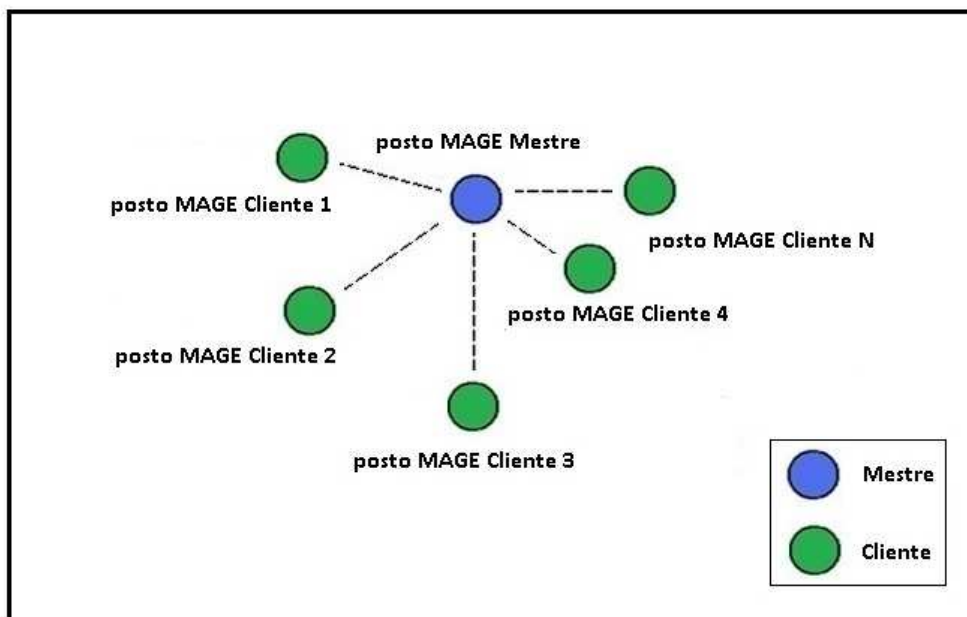


Figura 3.2: Comunicação direta com o Mestre - Exemplo de arquitetura do modelo da RMT.

os emissores cuja localização deve ser calculada e recruta dois ou mais postos MAGE Cliente para participar do cálculo da LE desses emissores. Esse cálculo é realizado através da técnica da triangulação necessitando, para isso, de pelo menos 2 postos MAGE Cliente presentes com suas informações.

Os postos MAGE Cliente recrutados a participar da LE dos emissores, enviam ao Mestre, via RMT, suas coordenadas geográficas fornecidas pelo GPS e os dados atualizados das emissões monitoradas. O Mestre de posse dessas informações dá início ao cálculo estimado da LE desses emissores.

3.3.2 Requisitos da missão de LE

Os requisitos básicos da missão de LE são listados abaixo e são inspirados nos requisitos de sistemas de comunicações táticos militares com valores modificados por questão de confidencialidade.

- Número de postos MAGE participantes da missão - no mínimo 3, incluindo o posto MAGE Mestre.
- Distância entre os postos MAGE - em torno de 10 quilômetros.
- Tempo de vida da mensagem tática - em torno de 1 s. Numa missão de LE a informação possui curtíssima duração de vida e o seu tempo de vida depende da natureza do emissor.

- Tamanho da mensagem tática - 50 bytes. A mensagem tática contém os dados de um emissor (tais como, direção e tempo de chegada, amplitude, frequência e largura de pulso).
- Latência da mensagem tática - em torno de milissegundos.
- Tabela de Emissores (TE) - deve ser recebida pelo posto Mestre no máximo em 10 s para que suas informações sejam consideradas válidas. Ela tem capacidade de armazenamento de 100 emissores (5000 bytes). Assim, se a TE do posto MAGE Cliente estiver completa, ele a envia ao Mestre em 100 mensagens de 50 bytes.
- Recebimento integral das TEs pelo Mestre - as tabelas de emissores dos postos MAGE devem ser recebidas integrais pelo Mestre.
- A RMT deve interferir o mínimo possível no SMR de maneira que ele possa trabalhar corretamente, principalmente na realização de suas tarefas principais de monitoração e LE.

Nesse modelo de rede, o SMR trabalha numa larga faixa de frequências que abrange as frequências de operação da RMT. Para que o SMR não interprete como emissores sinais provenientes da RMT, deve-se encontrar uma solução que atenda aos dois sistemas de forma que, em operação, idealmente um não interfira no outro.

Nesse sentido, o intervalo entre envios de mensagens táticas (IEM) deve ser escolhido de forma a contribuir ao recebimento da TE pelo Mestre no máximo em 10 s mas que os envios das mensagens que compõem essa tabela não degradem significativamente o desempenho do SMR.

O IEM representa os intervalos de tempo que o SMR tem para "ouvir" o meio de transmissão com menos interferência por parte dos sinais da RMT. Um IEM maior, por exemplo IEM2 (Figura 3.3), atrapalharia menos o funcionamento do SMR porém, durante o monitoramento de um emissor móvel pelos postos MAGE Cliente, o Mestre receberia os dados atualizados desse emissor com menor frequência.

Com um IEM menor, por exemplo IEM1, os postos transmitiriam informações de forma mais rápida ao Mestre possibilitando um melhor acompanhamento do emissor móvel, porém os sinais da RMT interfeririam mais no SMR.

- Quantidade de pacotes de controle gerada pelo protocolo de roteamento - no contexto de interferência mínima no SMR por parte dos sinais da RMT, é observado o protocolo de roteamento que em operação gere menos pacote de controle.

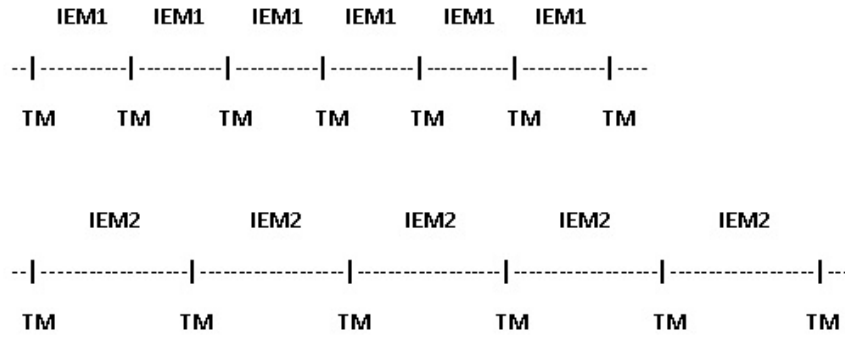


Figura 3.3: IEM (Intervalo entre Envios de Mensagens táticas) - TM (Tempo de envio da Mensagem tática).

3.4 Comentários

A RMT deve fornecer conectividade de longo alcance, com distâncias próximas a 10 km. As grandes distâncias permitem aumentar a área monitorada.

O grande alcance da rede poderia ser fornecido, por exemplo, por meio de antenas omni-direcionais com alto ganho ou com amplificadores de sinal. Esse assunto ainda é ponto em aberto na especificação do modelo da RMT e está em fase de estudo à procura da solução mais adequada.

Capítulo 4

Simulações

4.1 Introdução

Esse capítulo apresenta as simulações realizadas e seus respectivos resultados. O objetivo das simulações é de avaliar a melhor configuração da Rede Militar Tática (RMT) em missões de Localização Eletrônica (LE) de forma a atender a seus requisitos. Essa configuração é testada com os protocolos de roteamento OLSR e AODV. Para a realização desse estudo, simulações são feitas com o auxílio do simulador de redes NS-3 sobre cenários construídos que descrevem a inicialização de uma missão de LE onde parâmetros, tais como a distância entre veículos e intervalo entre HELLO dos protocolos de roteamento, são modificados de acordo com o objetivo de cada cenário.

Esse capítulo está estruturado como se segue: na Seção 4.2 é apresentado o ambiente de simulação contendo uma breve descrição do simulador de redes NS-3, uma breve explicação sobre a escolha dos protocolos aqui utilizados, as dimensões das áreas usadas nas simulações e a apresentação do ambiente técnico utilizado para a realização desse trabalho; na Seção 4.3 são apresentadas as métricas utilizadas para avaliar o desempenho dos protocolos de roteamento; na Seção 4.4 são descritos os dois critérios de escolha do nó Mestre utilizados nas simulações e na Seção 4.5 são apresentados os cenários construídos para a avaliação dos protocolos de roteamento e todas as simulações realizadas com seus resultados.

4.2 Ambiente de Simulação

O Simulador de Redes NS-3

A simulação é uma ferramenta muito importante usada pelos pesquisadores. Com ela é possível analisar um sistema real modelando o seu funcionamento lógico ao longo do tempo. Pode-se criar e analisar diversos modelos de cenários, modificar

e isolar parâmetros e extrair as métricas de interesse.

As simulações aqui apresentadas são realizadas com o auxílio do NS-3 versão 3.16 (*Network Simulator-3*) [41]. Este simulador é muito usado em pesquisas sobre redes *ad hoc* e suporta protocolos de redes cabeadas e sem fio.

Desenvolvido por pesquisadores, o NS-3 é um software livre de simulação a eventos discretos muito popular no meio acadêmico. Todo ele é escrito em C++ mas apresenta suporte à linguagem *Python* o que significa que pode-se escrever códigos de simulação em qualquer uma dessas duas linguagens. Por ser escrito numa linguagem orientada a objeto, o simulador é estruturado em módulos, o que facilita a sua compreensão e possibilita a reutilização de partes do código.

Como uma ótima alternativa para projetos de simulação, o NS-3 modela a evolução de um sistema com o tempo, em que as variáveis de estado mudam em instantes particulares (discretos) de tempo. Com ele é possível modelar uma determinada rede com suas métricas de interesse, de forma que esta rede possa ser tratada matematicamente.

O NS-3 gera arquivos de rastreamento de pacotes no formato *pcap*, *trace* e *route* permitindo o entendimento do comportamento da rede.

O Protocolo de Transporte TCP

O TCP (*RFC 793* [31]) é utilizado nas simulações por atender aos requisitos da missão de LE de entrega confiável dos dados ao destino, na ordem em que são enviados e sem erros (íntegros), requisitos esses não garantidos pelo protocolo UDP.

A versão do controle de congestionamento do TCP utilizada é a *NewReno* com o *MSS* (*Maximum Segment Size*) configurado para 536 bytes. Esta versão instalada no NS-3 é considerada uma das implementações com melhor desempenho e uma das mais utilizadas na Internet [42].

Os Protocolos de Roteamento OLSR e AODV

A principal motivação na escolha dos protocolos de roteamento é de analisar o comportamento de dois protocolos com diferentes modos de operação quando aplicados ao modelo da RMT em missões de LE. A partir dessa motivação são escolhidos o OLSR, o pró-ativo, e o AODV, o reativo, pela importância dos mesmos no cenário *ad hoc*.

O modo de operação do AODV, em tese, diminui a quantidade de pacotes de controle na rede, o que é desejável para a RMT. Contudo, o seu mecanismo de rota sob demanda acarreta em um aumento na latência das mensagens de dados, outro requisito importante. Os resultados das simulações mostram qual dos dois protocolos apresenta um desempenho mais adequado à missão de LE.

A implementação dos protocolos OLSR e AODV no NS-3 é baseada nas suas respectivas referências, *RFC* 3626 [14] [43] e *RFC* 3561 [26] [44].

Dimensões das Áreas de Simulação

Embora no modelo da RMT os postos MAGE estejam separados por distâncias quilométricas, nas simulações são utilizadas distâncias bem menores entre eles. Esta escolha basea-se em dois fatos: (i) o modelo de propagação utilizado nas simulações é o *free space* onde não existem obstáculos entre os nós. Utilizando esse modelo de propagação, para o simulador de rede, em termos de alcance, o que importa é saber se os nós são vizinhos ou não e, quando os nós são vizinhos, o simulador apresenta o mesmo comportamento independente da distância entre eles ser de metros ou de quilômetros e (ii) o tempo de propagação do sinal de RF no canal de transmissão é praticamente desprezível [45], apresentando pouco ou nenhum peso no cálculo da latência, independente da distância entre fonte e destino.

Ambiente Técnico de Trabalho

Na realização desse estudo são utilizados a máquina virtual *VMware Workstation* versão 10.0.0 com o *Ubuntu 9.10* instalado e o simulador de redes NS-3 versão 3.16. O desempenho dos protocolos de roteamento é analisado a partir de informações contidas nos arquivos *pcap*, *trace* e *route* e do *LOG* da camada física gerados pelo NS-3 ao final de cada simulação. As informações contidas nesses arquivos são processadas através de scripts escritos em *Awk*.

Cada nó da rede tem associado a ele um arquivo *pcap* que contém informações sobre o tráfego de pacotes em sua interface de rede durante as simulações. O arquivo *route* contém a tabela de roteamento de todos os nós. O arquivo *trace* e o *LOG* contêm informações do tráfego na rede.

4.3 Métricas de Desempenho Utilizadas

Todas as métricas, excetuando a latência, são medidas através das informações contidas no arquivo *pcap* do posto Mestre.

As métricas observadas para medir o desempenho dos protocolos de roteamento são:

- Latência (atraso fim-a-fim) - tempo decorrido entre a saída da mensagem tática da aplicação fonte e sua chegada à aplicação destino, medido em segundos. Essa métrica é importante visto que o principal requisito do cenário militar é o recebimento da TE pelo Mestre no máximo em 10 s. Caso contrário, as informações da tabela são consideradas inválidas.

Este tempo inclui os possíveis atrasos causados pelo tempo de transmissão na fonte, tempo de encaminhamento, tempo de propagação e tempo de recepção no destino.

- O tempo de transmissão na fonte inclui os possíveis atrasos sofridos pela mensagem de dados devido: (i) à espera no *buffer* durante o processo de aquisição de rotas [44], (ii) à espera do endereço *MAC* da rota ao Mestre e (iii) à espera na fila de transmissão da interface de rede do posto fonte para ser transmitida à rede.
 - O tempo de encaminhamento inclui as possíveis retransmissões da mensagem de dados.
 - O tempo de propagação refere-se ao tempo que a mensagem leva para percorrer a distância entre a fonte e o destino (considerado desprezível [45]).
 - O tempo de recepção no destino inclui o tempo que a mensagem leva da fila de espera da interface de rede do nó destino até à aplicação final (considerado desprezível).
- Tempo de recebimento - indica o tempo de recebimento de todas as TEs pelo Mestre, medido em segundos. Essa métrica verifica se o requisito de recebimento da TE no máximo em 10 s é respeitado.
 - Taxa de entrega das tabelas de emissores (TEs) ao Mestre - mede a porcentagem de dados das TEs recebida pelo Mestre.
 - Medida de pacotes de controle - mede o tráfego de pacotes de controle no Mestre. Essa métrica é importante porque a RMT deve interferir o mínimo possível com seus sinais no SMR de maneira que ele possa trabalhar corretamente. Nesse sentido, essa métrica mede a quantidade de pacotes de controle gerada pelo protocolo de roteamento. A fim de se ter uma idéia da sobrecarga no Mestre, ela inclui todos os pacotes de controle no arquivo *pcap* do Mestre excetuando os pacotes de controle referentes ao protocolo TCP.

Para todos os valores das métricas são calculados intervalos de confiança de 95% relativos à média das amostras.

4.4 Escolha do posto Mestre

Como os postos MAGE são iguais, equipados do mesmo SMR, qualquer um pode ser Mestre em uma missão de LE.

Nas simulações, para a escolha do Mestre, dois critérios são testados e comparados, com o objetivo de avaliar o impacto da posição do Mestre nas métricas:

- Critério 1 - O Mestre é o posto que possui a menor distância em relação ao centro da área simulada.

Nesse critério, no momento do posicionamento dos postos na área é executado um algoritmo que escolhe como Mestre aquele posto que estiver mais próximo do centro dessa área. O posto mais central possui um maior número de vizinhos.

- Critério 2 - O Mestre é o posto mais próximo à uma das bordas da área simulada.

Esse critério simula a situação da hierarquia militar presente na RMT. Ao término da missão, o oficial comandante do posto Mestre pode desejar ser o primeiro a retornar à base. Nesse caso ele escolhe uma posição na área onde tenha acesso mais rápido ao caminho de volta.

4.5 Cenários de Simulação

Para testar os protocolos em várias situações, foram criados cenários de simulação representando a inicialização da missão de LE: os postos MAGE quando estacionados em campo para a realização da missão, ligam o seu equipamento de rede e o seu SMR. Enquanto a RMT está sendo formada entre os postos o SMR monitora o espectro eletromagnético local à procura de emissões radar. As emissões interceptadas são armazenadas na tabela de emissores (TE) presente ao interior do sistema. Uma vez esse procedimento realizado, os postos enviam suas TEs ao posto MAGE Mestre via a RMT.

Nesses cenários, assim que o Mestre é definido pelo algoritmo de escolha do posto Mestre, todos os postos solicitam conexão TCP com ele no mesmo momento, porém só enviam suas TEs quando o procedimento de monitoramento realizado pelo SMR estiver terminado. O objetivo é verificar, caso haja sincronização na solicitação de conexão TCP pelos postos numa missão real, quantos deles conseguiriam enviar integralmente suas TEs ao Mestre. Durante a inicialização da missão de LE os postos MAGE que não conseguem enviar suas TEs podem fazê-lo mais tarde. Porém, durante a missão de LE as TEs devem ser enviadas no momento necessário.

Nesses cenários, o posicionamento dos postos na área da missão é feito por meio de uma função randômica que os distribui homogeneamente nessa área. Os endereços IP de cada posto é definido no código da aplicação no momento em que cada um é criado.

Os parâmetros variados ao longo das simulações são os valores de IEM, o número de postos MAGE e a distância entre eles. O desempenho dos protocolos é testado

com dois valores de IEM: 0,01 s e 0,1 s. Esses valores contribuem para que a TE seja recebida pelo Mestre no máximo em 10 s.

O modelo de propagação utilizado nesse trabalho é o *free space*, por se aproximar do cenário das missões de LE. Esse modelo de propagação é usado para o cálculo da intensidade do sinal que chega ao receptor quando existe uma linha de visada não obstruída por nenhum obstáculo entre o emissor e o receptor. Sistemas de comunicação via satélite e enlaces de microondas utilizam, tipicamente, a propagação no espaço livre como modelo para cálculo da potência recebida (Ver Espaço Livre em [46]).

4.5.1 Objetivos dos cenários criados

- verificar se as latências apresentam valores compatíveis à missão de LE;
- verificar a possibilidade do recebimento integral da TE pelo Mestre no máximo em 10 s;
- acompanhar a evolução das latências com o aumento do número de postos na rede;
- verificar o valor de IEM que fornece menores latências;
- calcular a quantidade máxima de postos na rede que permita a todos eles, quando solicitam conexão ao Mestre no mesmo momento. encaminhar suas TEs sem atraso inicial ao Mestre de forma que sejam recebidas integralmente no máximo em 10 s;
- verificar a taxa de entrega das TEs;
- verificar a possibilidade de comunicação indireta entre postos MAGE em uma missão de LE e
- verificar qual dos protocolos de roteamento sobrecarrega menos a RMT com seus pacotes de controle.

4.5.2 Descrição dos cenários

- **Cenário 1** - busca calcular a quantidade máxima de postos na rede de forma a atender aos requisitos da missão de LE, numa configuração de vizinhança entre os postos. Esse cenário é testado com o modo de operação padrão dos protocolos OLSR e AODV.

- **Cenário 2** - analisa a possibilidade de aumento na quantidade de postos na RMT com o AODV, medida no cenário 1, mudando o valor do intervalo de envio de suas mensagens de HELLO para 2 s, ficando como no OLSR.
- **Cenário 3** - testa os dois critérios de escolha do nó Mestre buscando aquele com o melhor desempenho.
- **Cenário 4** - busca analisar a viabilidade de comunicação indireta entre postos MAGE durante a missão de LE. Os postos Cliente fora do alcance do Mestre, tentam participar da missão enviando suas TEs através de postos MAGE vizinhos.
- **Cenário 5** - analisa a possibilidade de aumento na quantidade de postos na RMT com o OLSR, medida no cenário 1, mudando o valor do intervalo de envio de suas mensagens de HELLO.

Os parâmetros utilizados em todos os cenários são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Parâmetros dos cenários.

Tamanho das mensagens	50 bytes
Número de mensagens	100 por posto
Tempo máx. de recebimento da TE	10 s
Valores de IEM	0,01 s e 0,1 s
Padrão de rede sem fio	802.11b
Área de cobertura	em torno de 170 metros
Taxa de transmissão	11 <i>Mbps</i>
Modelo de propagação	<i>free space</i>
Tempo de simulação	150 s

Nas tabelas de resultados das simulações abaixo, cada linha corresponde à média de várias simulações realizadas com intuito de explorar o maior número de situações possíveis.

Tabela 4.2: Descrição dos campos das tabelas de resultados.

Latência Md. (s)	Latência média (segundos).
Tempo de Rcb. Md. (s)	Indica o tempo médio de recebimento de todas as TEs pelo Mestre (segundos).
Taxa de Entrega Md. (%)	Porcentagem média de dados das TEs recebida pelo Mestre.
Md. de Pacotes de Controle	Quantidade média de pacotes de controle gerada pelo protocolo de roteamento.

4.5.3 Cenário 1

O cenário 1 visa obter a quantidade máxima de postos na rede que atenda aos requisitos da missão de LE. Esses requisitos são a latência da mensagem tática em torno de milissegundos e o recebimento integral de cada TE pelo Mestre no máximo em 10 s para que suas informações sejam consideradas válidas.

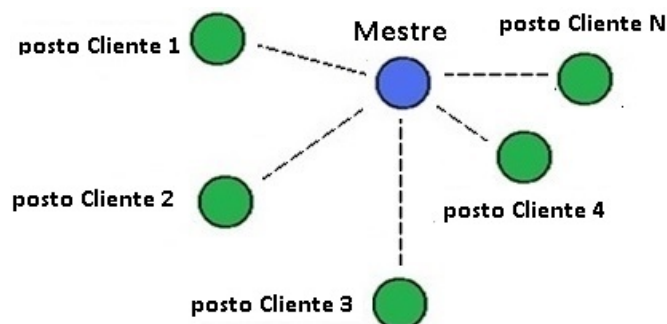


Figura 4.1: Cenário 1 - Envio das TEs ao Mestre.

Esse cenário é testado numa configuração de vizinhança entre os postos.

Os parâmetros utilizados nas simulações são: (i) início de tráfego - 5 s após o início da simulação. Os postos MAGE Cliente começam a enviar suas TEs 5 s após o início da simulação, dentro de um intervalo de 10 s e em momentos aleatórios de forma a simular a realidade assíncrona do envio da TE por cada posto MAGE. A margem de 5 s permite a convergência das tabelas de roteamento dos protocolos em cada posto, (ii) número de postos MAGE - 3 a 15 postos, (iii) dimensão da área simulada - 100 m x 100 m, para respeitar o critério de vizinhança e (iv) critério de escolha do posto Mestre - Critério 1.

Comentários sobre os resultados das simulações do cenário 1

Logo no início da simulação, assim que o Mestre é definido pelo algoritmo de escolha do posto Mestre, todos os postos solicitam conexão TCP com ele no mesmo momento. Aos 3 s de simulação, com os dois protocolos, todos os postos possuem suas tabelas de roteamento prontas, com rotas para todos os outros postos da rede. Como nesse cenário os postos são vizinhos, essas rotas se mantêm ativas (estáveis) nas suas tabelas de roteamento durante toda a simulação.

Com o OLSR, as TEs transmitidas apresentam bons valores para a métrica Latência Média, em torno de milissegundos (Tabela 4.3). Porém com o AODV, devido a seu mecanismo de descoberta de rotas, algumas TEs sofrem grande atraso inicial de envio na fonte tornando, nesses casos, suas latências incompatíveis a uma missão de LE e aumentando o valor da métrica Latência Média (linhas 10, 12 e 15 na Tabela 4.4).

Tabela 4.3: Resultados do OLSR com os dois valores de IEM (0,01 s x 0,1 s).

Nº de postos (0,01 s x 0,1 s)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)
3	0,00028 - 0,00124	0,98 - 9,89	100 - 100
5	0,00083 - 0,00240	0,98 - 9,89	100 - 100
6	0,00094 - 0,00280	0,98 - 9,89	100 - 100
7	0,00113 - 0,00314	0,98 - 9,89	99,16 - 99,25
8	0,00115 - 0,00347	0,98 - 9,89	97,14 - 99,04
10	0,00124 - 0,00408	0,98 - 9,89	97,03 - 99,00
12	0,00152 - 0,00472	0,98 - 9,89	96,96 - 98,78
15	0,00171 - 0,00476	0,98 - 9,89	83,33 - 79,04

Tabela 4.4: Resultados do AODV com os dois valores de IEM (0,01 s x 0,1 s).

Nº de postos (0,01 s x 0,1 s)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)
3	0,00028 - 0,00127	0,98 - 9,89	100 - 100
5	0,00067 - 0,00236	0,98 - 9,89	100 - 100
6	0,00090 - 0,00277	0,98 - 9,89	100 - 100
7	0,00112 - 0,00306	0,98 - 9,89	96,66 - 98,88
8	0,00142 - 0,00342	0,98 - 9,89	95,71 - 90,95
10	0,00516 - 1,41839	0,98 - 9,77	87,04 - 88,14
12	0,01636 - 2,02062	0,98 - 9,72	84,24 - 88,18
15	1,96964 - 2,52616	0,99 - 9,68	82,61 - 82,14

Esses atrasos começam a surgir a partir de 7 postos na rede com IEM a 0,1 s, são atrasos de milissegundos. Porém, a partir de 10 postos o AODV começa a apresentar atrasos na ordem de segundos tornando a latência nesses casos incompatível a uma missão de LE. A partir de 15 postos com IEM a 0,01 s e de 10 postos com IEM a 0,1 s, eles são em maior quantidade e alguns de grandes valores tornando a métrica Latência Média do AODV bem maior que a do OLSR a partir de então (Figura 4.2). As TEs ficam enfileiradas no *buffer* do TCP dos respectivos postos Clientes à espera de transmissão.

Para entender esses atrasos iniciais, segue uma breve explicação do processo de descoberta de rotas do AODV e do processo de solicitação de conexão TCP com o Mestre nos dois protocolos, observados durante as simulações:

No OLSR os postos solicitam, através da mensagem *ARP*, o endereço *MAC* do Mestre logo no início das simulações, no momento em que os postos estão conhecendo sua vizinhança através das mensagens *HELLO*. Com o *MAC* concedido, os postos estabelecem uma conexão TCP com o Mestre. No momento do envio da TE, os postos procuram a rota ao Mestre nas suas tabelas de roteamento. Como nesse

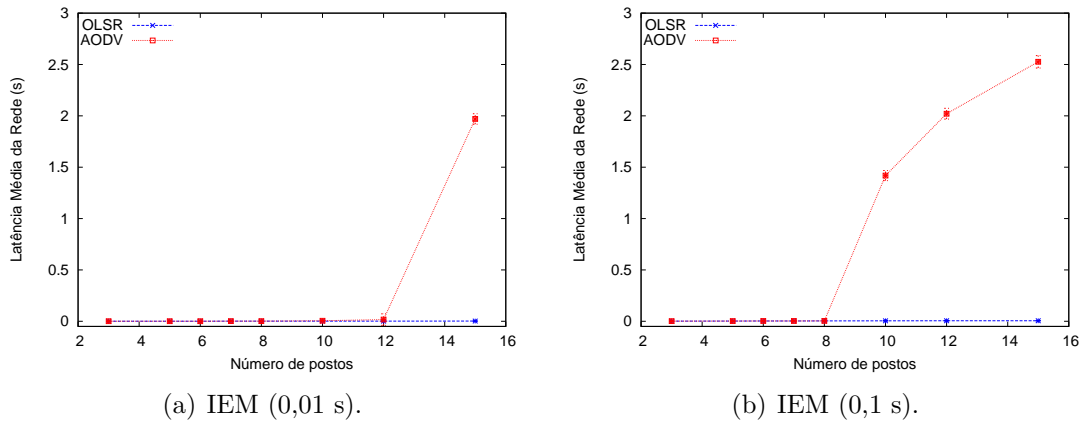


Figura 4.2: Latência Média da Rede - OLSR x AODV.

cenário todos os postos são vizinhos, a rota é direta e os postos não precisam pedir o *MAC* do Mestre pois eles já o fizeram no momento da conexão TCP. Assim, com o OLSR, todas as TEs são transmitidas sem atraso inicial de transmissão na fonte.

No AODV, a solicitação do *MAC* do Mestre é feita após a criação das rotas. O seu mecanismo de descoberta de rotas é disparado por volta de 0,01 s com todos os postos solicitando e retransmitindo solicitações de outros postos de rota para o Mestre (*RREQ*). Durante esse processo é gerada uma grande sobrecarga de controle de roteamento e, por vezes, alguns postos não conseguem inicialmente uma rota direta para o Mestre ou simplesmente não conseguem rota. Com a rota ao Mestre criada, os postos solicitam o endereço *MAC* do posto dessa rota para estabelecer uma conexão TCP com o Mestre.

Os postos que enviam suas TEs com atraso inicial, estabelecem conexão TCP com o Mestre através de um posto Cliente vizinho que é sua rota ao Mestre no momento da conexão. Quando chega o momento do envio de suas TEs, a rota para o Mestre nas suas tabelas de roteamento é outra, já é direta, porque o mecanismo de manutenção de rotas do AODV, com suas mensagens de HELLO, tinha passado e atualizado as rotas. Com a mudança da rota os postos tem que solicitar o endereço *MAC* do Mestre. Essas solicitações são feitas num momento em que TEs de outros postos estão em transmissão e o Mestre está ocupado em recebê-las. Assim as solicitações ficam enfileiradas na fila de recepção da interface de rede do Mestre (*IFQ*) à espera de tratamento. O tempo de espera nessa fila determina o atraso inicial de envio dessas TEs.

São observados de pequenos a altos valores para esses atrasos iniciais: 0,0020 s a 127,00 s. Analisando os arquivos *pcap* e *trace* gerados ao final de cada simulação, nos atrasos menores os postos estão prontos para enviar suas TEs mas a situação crítica da rede na hora do envio provoca uma demora na captura do meio de transmissão.

Nos atrasos a partir de 1 s, os postos Cliente fazem conexão TCP com o posto

Mestre através de um posto Cliente vizinho e quando chega o momento de enviar suas TEs a rota para o Mestre já é direta. Assim eles solicitam o *MAC* do Mestre e só recebem a resposta alguns segundos depois.

Nas situações de grandes atrasos, o mecanismo de controle de congestionamento do TCP *NewReno*, numa tentativa de minimizar o atraso, armazena partes das TEs em mensagens superiores a 50 bytes, segundo seu *MSS*, e as transmite. A transmissão de TEs em mensagens maiores de 50 bytes provoca uma queda no valor da métrica Tempo de Recebimento Médio da rede (Ver à direita na coluna Tempo de Rcb. Md. na Tabela 4.4).

Com o AODV, algumas TEs levam mais tempo a ser transmitidas devido as retransmissões de mensagens de dados durante a transmissão das mesmas, o posto Mestre solicita por sequências por ele não recebidas. O TCP do posto Cliente arruma essas sequências em mensagens maiores de 50 bytes e as transmite. As retransmissões de sequências aumentam o tempo de recebimento dessas TEs pelo Mestre e contribuem para aumentar o valor da métrica Tempo de Recebimento Médio da rede (Ver à esquerda na coluna Tempo de Rcb. Md. na Tabela 4.4).

Com os dois protocolos, todas as TEs enviadas pelos postos Clientes são recebidas integralmente pelo posto Mestre.

As latências com IEM a 0,1 s são maiores que as latências com o IEM a 0,01 s (Ver Tabelas 4.3, 4.4). As TEs com IEM a 0,1 s levam mais tempo a ser transmitidas e quando postos enviam suas TEs em tempos próximos, ocorre congestionamento, suas mensagens colidem provocando retransmissões e aumento nas latências.

As latências aumentam com o aumento do número de postos na rede, pois aumenta a disputa pelo meio e o número de postos emitindo pacotes de controle e mensagens de dados gerando congestionamento com colisões, perdas de mensagens e retransmissões.

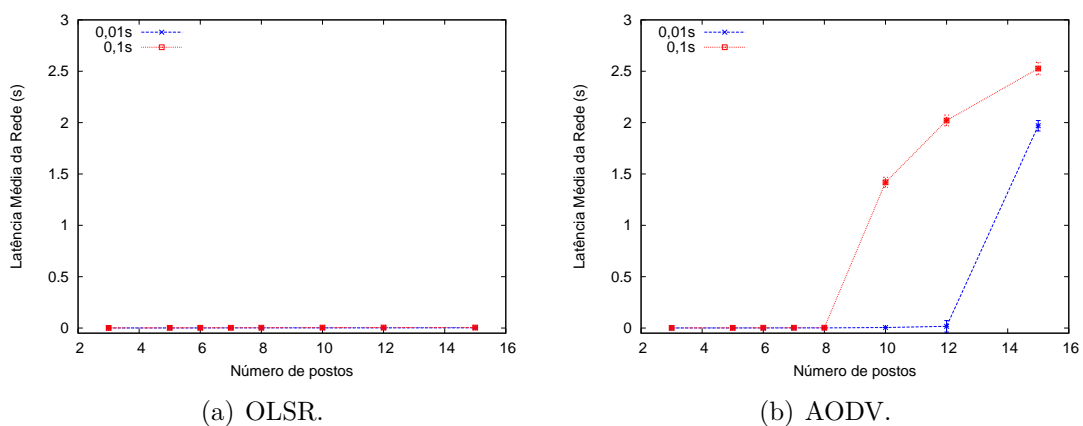


Figura 4.3: Latência Média da Rede - IEM (0,01 s) x IEM (0,1 s).

Com relação à métrica Taxa de Entrega os dois protocolos apresentam eficiência

de 100% de entrega das TEs até 6 postos na rede (Ver Tabelas 4.3, 4.4).

Com o aumento da vizinhança a rede começa a ficar saturada com todo tipo de tráfego, aumentando a disputa pelo meio e o número de colisões, fazendo a taxa de entrega das TEs diminuir consideravelmente nos dois protocolos: com o OLSR a taxa de entrega cai porque todos os postos solicitam o endereço *MAC* do Mestre em momentos próximos, provocando uma concentração de tráfego em direção ao Mestre. Com o aumento do número de postos aumenta a possibilidade de perdas dessas solicitações devido a colisões. Com o AODV a taxa de entrega cai devido aos postos que fazem a solicitação do *MAC* no momento de transmitir suas TEs, encontrando um meio ocupado com TEs de outros postos em transmissão e pacotes de controle.

Acima de 6 postos na rede, o AODV apresenta uma taxa de entrega inferior ao do OLSR em consequência da maior sobrecarga de roteamento gerada durante a fase de descoberta de rotas. Quanto menor o número de pacotes de controle nessa fase, mais escalável é o protocolo. O processo de descoberta de vizinhança exerce grande influência sobre o desempenho de um protocolo de roteamento, pois grande parte dos problemas de escalabilidade é creditada à carga de mensagens de sinalização geradas pelo processo de descoberta de vizinhança [47].

Com 15 postos na rede, a taxa de entrega do OLSR chega a ser pior que o do AODV. O OLSR apresenta um bom desempenho com poucos postos na rede, aumentando o número de postos seu desempenho cai pois aumenta o número de postos transmitindo mensagens TC a seus vizinhos imediatos, com suas tabelas de roteamento a cada 5 s, e mensagens de HELLO a cada 2 s, num trabalho contínuo de atualização de rotas. Ele passa a consumir uma quantidade significativa de largura de banda da rede, gerando um tráfego de controle importante e prejudicando a entrega de suas TEs. O OLSR por ser um protocolo de roteamento pró-ativo, orientado à tabelas, necessita manter as rotas para todos os nós da rede, para isso ele usa as mensagens de HELLO e as mensagens TC. [48]

Analizando os arquivos dos postos que não conseguem enviar suas TEs, verifica-se que eles não possuem o endereço *MAC* do Mestre na hora do envio. Analizando o arquivo *trace* e as informações fornecidas pelo NS-3 através do *LOG* da camada física, as solicitações *MAC* colidem ou com pacotes de controle ou com mensagens de TEs de outros postos Cliente que estão sendo transmitidas no momento das solicitações. Essas perdas são frutos do congestionamento provocado pela concentração de tráfego em direção ao posto Mestre, uma vez que todos os postos enviam suas TEs para ele.

A carga de roteamento aumenta com o aumento da quantidade de postos na rede pois aumenta o número de postos emitindo pacotes de controle. O AODV é o protocolo que apresenta a maior medida desses pacotes (Tabelas 4.5, 4.6 e Figura 4.4).

Esse resultado do AODV reside no fato de estar sendo usada a versão padrão desse protocolo cujo mecanismo de manutenção de rotas é baseado no envio de mensagens de HELLO a cada 1 s, o que prejudica o seu desempenho. Os nós enviam essas mensagens a seus vizinhos via *broadcast* a cada 1 s aumentando consideravelmente a carga na rede. O OLSR envia essas mensagens a cada 2 s.

Tabela 4.5: Média de Pacotes de Controle com OLSR e AODV - IEM (0,01 s).

Nº de postos (0,01 s)	Md. de Pacotes de Controle (OLSR x AODV)
3	549,50 - 784,00
5	1038,16 - 1423,20
6	1260,29 - 1744,45
7	1489,42 - 2026,53
8	1702,16 - 2332,53
10	2165,83 - 2845,66
12	2628,36 - 3400,66
15	3015,70 - 4222,60

Tabela 4.6: Média de Pacotes de Controle com OLSR e AODV - IEM (0,1 s).

Nº de postos (0,1 s)	Md. de Pacotes de Controle (OLSR x AODV)
3	551,30 - 784,33
5	1023,23 - 1422,93
6	1259,99 - 1744,47
7	1489,84 - 2048,83
8	1723,23 - 2288,96
10	2197,43 - 3018,50
12	2660,86 - 3469,06
15	2918,33 - 4198,53

A partir da comparação entre os dois protocolos observa-se que o OLSR é o mais indicado para ser usado na RMT. Embora os dois protocolos respeitem os requisitos avaliados até 6 postos na rede, o AODV emite uma maior quantidade de pacotes de controle com seus HELLO a cada 1 s.

4.5.4 Cenário 2

O cenário 2 analisa a possibilidade de aumento na quantidade de postos na RMT com o AODV, mudando o valor do intervalo de envio de suas mensagens de HELLO. O intervalo de tempo entre HELLO é um parâmetro que pode ser ajustado no protocolo AODV [44]. Dessa forma, com o intuito de obter uma comparação

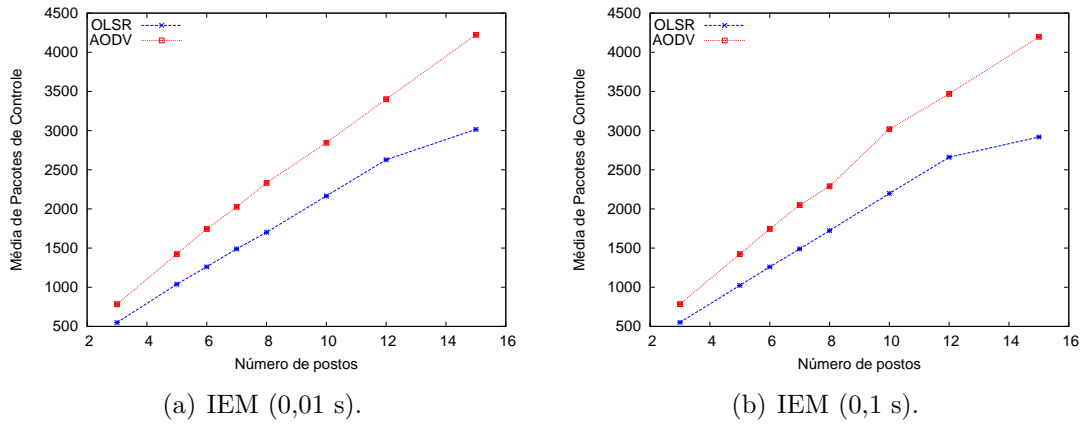


Figura 4.4: Pacotes de controle na rede - OLSR x AODV.

justa entre os dois protocolos e avaliar a possibilidade de aumento na quantidade de postos na rede com o AODV, o cenário 1 é agora testado com o intervalo entre HELLO desse protocolo de 2 s, ficando igual ao do OLSR.

Comentários sobre os resultados das simulações do cenário 2

Nesse cenário, os atrasos iniciais de transmissão na fonte com o AODV aparecem a partir de 7 postos na rede e IEM a 0,1 s, como verificado no cenário 1. A partir de 10 postos, esses atrasos aumentam em muito a métrica Latência Média tornando-a bem maior que a do OLSR e inviável a uma missão de LE (Linhas 10, 12 e 15 nas Tabelas 4.7, 4.8 e Figura 4.5).

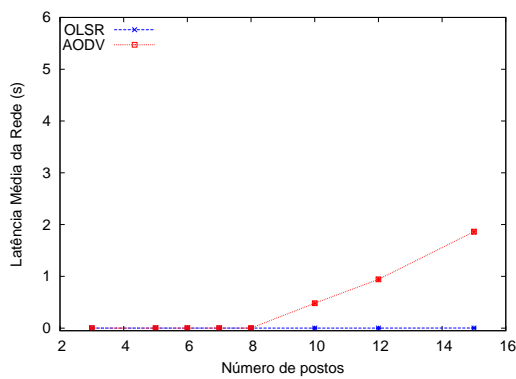
Tabela 4.7: Resultados dos OLSR e AODV com IEM (0,01 s) e HELLO (2 s).

Nº de postos (0,01 s)	Latência Md. (s) (OLSR x AODV)	Tempo de Rcb. Md. (s) (OLSR x AODV)	Taxa de Entrega Md. (%) (OLSR x AODV)
3	0,00028 - 0,00074	0,98 - 0,98	100 - 100
5	0,00083 - 0,00084	0,98 - 0,98	100 - 100
6	0,00094 - 0,00088	0,98 - 0,98	100 - 100
7	0,00113 - 0,00096	0,98 - 0,98	99,16 - 95,00
8	0,00115 - 0,00106	0,98 - 0,98	97,14 - 93,33
10	0,00124 - 0,48104	0,98 - 0,98	97,03 - 86,29
12	0,00152 - 0,94146	0,98 - 0,99	96,96 - 85,45
15	0,00171 - 1,86198	0,98 - 1,00	83,33 - 81,19

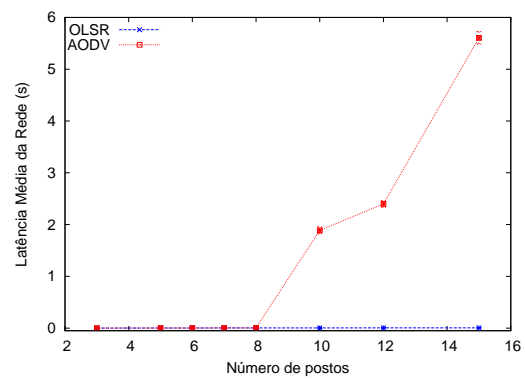
São verificados altos valores para esses atrasos iniciais, de 1 s a 127,00 s. Quando ocorrem os grandes atrasos, o mecanismo de controle de congestionamento do TCP *NewReno* armazena as TEs em mensagens maiores de 50 bytes, segundo seu *MSS*, e as transmite. Esse procedimento provoca uma queda no valor da métrica Tempo de Recebimento Médio da rede (Ver à direita na coluna Tempo de Rcb. Md. na Tabela 4.8 e à direita na Figura 4.6).

Tabela 4.8: Resultados dos OLSR e AODV com IEM (0,1 s) e HELLO (2 s).

Nº de postos (0,1 s)	Latência Md. (s) (OLSR x AODV)	Tempo de Rcb. Md. (s) (OLSR x AODV)	Taxa de Entrega Md. (%) (OLSR x AODV)
3	0,00124 - 0,00135	9,89 - 9,89	100 - 100
5	0,00240 - 0,00232	9,89 - 9,89	100 - 100
6	0,00280 - 0,00277	9,89 - 9,89	100 - 100
7	0,00314 - 0,00317	9,89 - 9,89	99,25 - 98,88
8	0,00347 - 0,00338	9,89 - 9,89	99,04 - 96,19
10	0,00408 - 1,88896	9,89 - 9,74	99,00 - 91,48
12	0,00472 - 2,39884	9,89 - 9,70	98,78 - 87,57
15	0,00476 - 5,60624	9,89 - 9,18	79,04 - 79,52

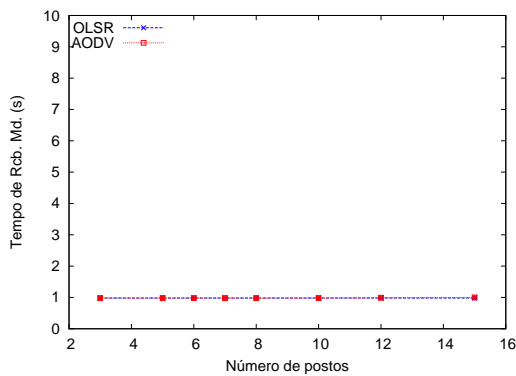


(a) IEM (0,01 s).

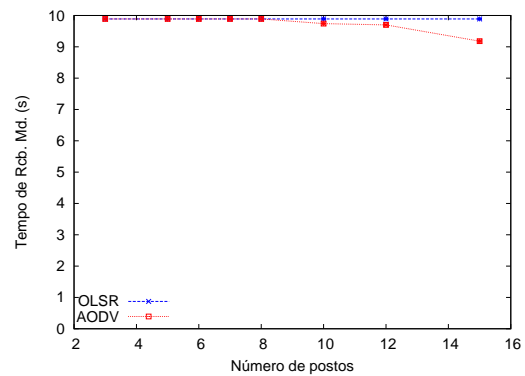


(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.5: Latência Média da Rede - OLSRxAODV - HELLO (2 s).



(a) IEM (0,01 s).



(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.6: Tempo médio de recebimento das TEs - OLSRxAODV - HELLO (2 s).

Nos atrasos menores, as TEs levam mais tempo a ser transmitidas devido as retransmissões de mensagens de dados durante a transmissão das mesmas, o posto Mestre solicita por sequências por ele não recebidas. O TCP do posto Cliente arruma essas sequências em mensagens maiores de 50 bytes e as transmite. As retransmissões dessas sequências acrescentam alguns segundos na transmissão das

TEs, aumentando o tempo de recebimento dessas TEs pelo Mestre e contribuindo para aumentar o valor da métrica Tempo de Recebimento Médio (Ver à direita na coluna Tempo de Rcb. Md. na Tabela 4.7 e Figura 4.7).

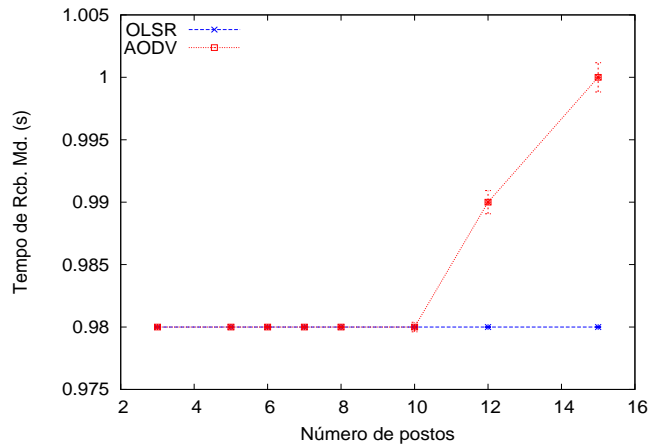


Figura 4.7: Tempo médio de recebimento das TEs - OLSRxAODV - IEM (0,01 s) - HELLO (2 s).

Com o OLSR e AODV enviando suas mensagens de HELLO na mesma frequência, os dois protocolos apresentam praticamente a mesma medida de pacotes de controle na rede (Tabelas 4.9, 4.10 e Figura 4.8).

Tabela 4.9: Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV com IEM (0,01 s) e HELLO (2 s).

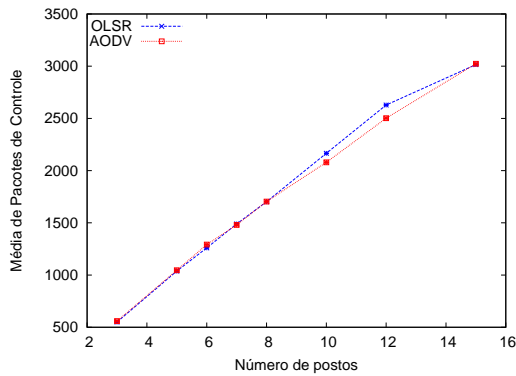
Nº de postos (0,01 s)	Md. de Pacotes de Controle (OLSR x AODV)
3	549,50 - 558,91
5	1038,16 - 1045,85
6	1260,29 - 1291,61
7	1489,42 - 1479,70
8	1702,16 - 1703,43
10	2165,83 - 2079,06
12	2628,36 - 2501,93
15	3015,70 - 3023,03

O número de postos na rede numa missão de LE não se altera com o AODV emitindo suas mensagens de HELLO a cada 2 s (Ver Taxa de Entrega Md. nas Tabelas 4.7, 4.8).

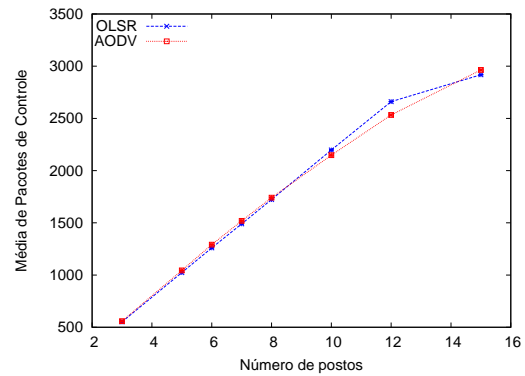
Em geral, a taxa de entrega das TEs do OLSR é maior que a do AODV a partir de 7 postos na rede. O motivo desse resultado ruim do AODV é o mesmo do cenário anterior, o seu mecanismo de descoberta de rotas não fornece rotas diretas ao Mestre a todos os postos da rede obrigando-os a solicitar o *MAC* do Mestre no momento do envio de suas TEs, quando a rede está congestionada.

Tabela 4.10: Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV com IEM (0,1 s) e HELLO (2 s).

Nº de postos (0,1 s)	Md. de Pacotes de Controle (OLSR x AODV)
3	551,30 - 558,39
5	1023,23 - 1044,65
6	1259,99 - 1291,45
7	1489,84 - 1518,86
8	1723,23 - 1741,30
10	2197,43 - 2148,03
12	2660,86 - 2532,63
15	2918,33 - 2964,26



(a) IEM (0,01 s).



(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.8: Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV - HELLO (2 s).

As Tabelas 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14, apresentam uma comparação das métricas do AODV com HELLO de 1 s e HELLO de 2 s.

Com HELLO a cada 2 s, aumenta o número de postos que enviam suas TEs com atraso inicial na fonte de transmissão, aumentando o valor da métrica Latência Média (Ver à direita na coluna Latência Md. das Tabelas 4.11 e 4.12). A forma como essas TEs são transmitidas impacta no valor da métrica Tempo de Recebimento Médio (Ver à direita na coluna Tempo de Rcb. Md. nessas mesmas Tabelas).

O aumento no valor da métrica Latência Média deve-se ao aumento do intervalo de HELLO do AODV. Aumentando esse intervalo, aumenta o risco de postos não conseguirem enviar suas TEs ou de enviá-las com atrasos iniciais: um posto que não consegue rota para o Mestre durante o mecanismo de descoberta de rotas, pode consegui-la durante a fase de manutenção de rotas com as mensagens de HELLO. Quanto maior o intervalo de envio dessas mensagens, mais tarde a rota é estabelecida, aumentando o risco da solicitação do *MAC* do posto da rota ser feita em um momento crítico da rede e aumentando, assim, o risco da TE não ser transmitida ou de ser transmitida com um atraso inicial.

Com relação à Taxa de Entrega das TEs medida com os dois intervalos de HELLO do AODV, para o IEM (0,01 s) a Taxa de Entrega do HELLO (1 s) é, no geral, sensivelmente melhor mas, para o IEM (0,1 s), os dois intervalos se alternam entre o melhor e o pior desempenho.

Tabela 4.11: Resultados do AODV - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,01 s).

Nº de postos (0,01 s)	Latência Md. (s) (1 s x 2 s)	Tempo de Rcb. Md. (s) (1 s x 2 s)	Taxa de Entrega Md. (%) (1 s x 2 s)
3	0,00028 - 0,00074	0,98 - 0,98	100 - 100
5	0,00067 - 0,00084	0,98 - 0,98	100 - 100
6	0,00090 - 0,00088	0,98 - 0,98	100 - 100
7	0,00112 - 0,00096	0,98 - 0,98	96,66 - 95,00
8	0,00142 - 0,00106	0,98 - 0,98	95,71 - 93,33
10	0,00516 - 0,48104	0,98 - 0,98	87,04 - 86,29
12	0,01636 - 0,94146	0,98 - 0,99	84,24 - 85,45
15	1,96964 - 1,86198	0,99 - 1,00	82,61 - 81,19

Tabela 4.12: Resultados do AODV - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,1 s).

Nº de postos (0,1 s)	Latência Md. (s) (1 s x 2 s)	Tempo de Rcb. Md. (s) (1 s x 2 s)	Taxa de Entrega Md. (%) (1 s x 2 s)
3	0,00127 - 0,00135	9,89 - 9,89	100 - 100
5	0,00236 - 0,00232	9,89 - 9,89	100 - 100
6	0,00277 - 0,00277	9,89 - 9,89	100 - 100
7	0,00306 - 0,00317	9,89 - 9,89	98,88 - 98,88
8	0,00342 - 0,00338	9,89 - 9,89	90,95 - 96,19
10	1,41839 - 1,88896	9,77 - 9,74	88,14 - 91,48
12	2,02062 - 2,39884	9,72 - 9,70	88,18 - 87,57
15	2,52616 - 5,60624	9,68 - 9,18	82,14 - 79,52

A partir da comparação entre os dois protocolos, observa-se que o OLSR continua sendo o protocolo que apresenta o melhor desempenho em relação à métrica Taxa de Entrega das TEs. Até 6 postos na rede, os dois protocolos respeitam os requisitos avaliados. O aumento no intervalo de HELLO do AODV não aumenta a quantidade de postos na rede com esse protocolo mas diminui a quantidade de pacotes de controle gerada pelo mesmo (Figura 4.9).

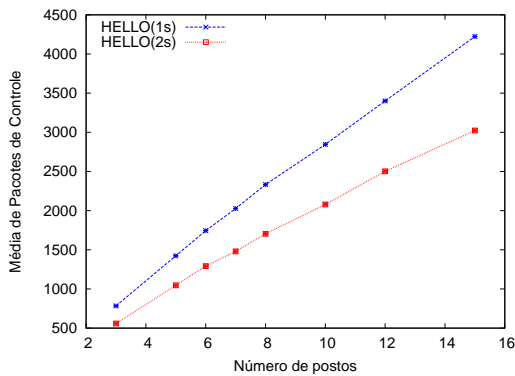
Até uma quantidade máxima de 6 postos na RMT, o AODV com seus HELLO a cada 2 s poderia ser utilizado em uma missão de LE. Porém, essa configuração particular do AODV deve ser estudada mais detalhadamente através de simulações com outros modelos de propagação.

Tabela 4.13: AODV - Média de Pacotes de Controle - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,01 s).

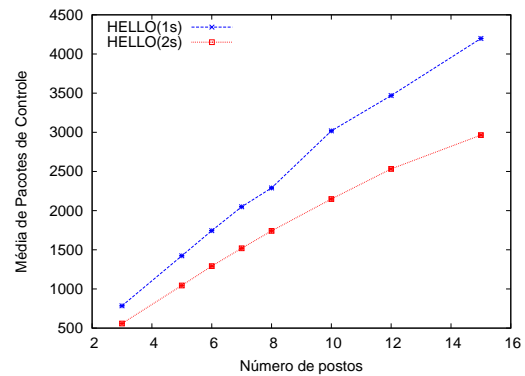
Nº de postos (0,01 s)	Md. de Pacotes de Controle (1 s x 2 s)
3	784,00 - 558,91
5	1423,20 - 1045,85
6	1744,45 - 1291,61
7	2026,53 - 1479,70
8	2332,53 - 1703,43
10	2845,66 - 2079,06
12	3400,66 - 2501,93
15	4222,60 - 3023,03

Tabela 4.14: AODV - Média de Pacotes de Controle - HELLO (1 s) x HELLO (2 s) e IEM (0,1 s).

Nº de postos (0,1 s)	Md. de Pacotes de Controle (1 s x 2 s)
3	784,33 - 558,39
5	1422,93 - 1044,65
6	1744,47 - 1291,45
7	2048,83 - 1518,86
8	2288,96 - 1741,30
10	3018,50 - 2148,03
12	3469,06 - 2532,63
15	4198,53 - 2964,26



(a) IEM (0,01 s).



(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.9: AODV - Média de Pacotes de Controle - HELLO (1 s) x HELLO (2 s).

4.5.5 Cenário 3

O objetivo do cenário 3 é de avaliar o impacto da posição do Mestre nas métricas, verificando se os requisitos da missão de LE são respeitados.

Os dois critérios de escolha do posto Mestre são: (i) Critério 1 (C1) - O Mestre é o posto mais central na área simulada (Figura 4.10) e (ii) Critério 2 (C2) - O Mestre é o posto mais próximo à uma das bordas da área simulada (Figura 4.11).

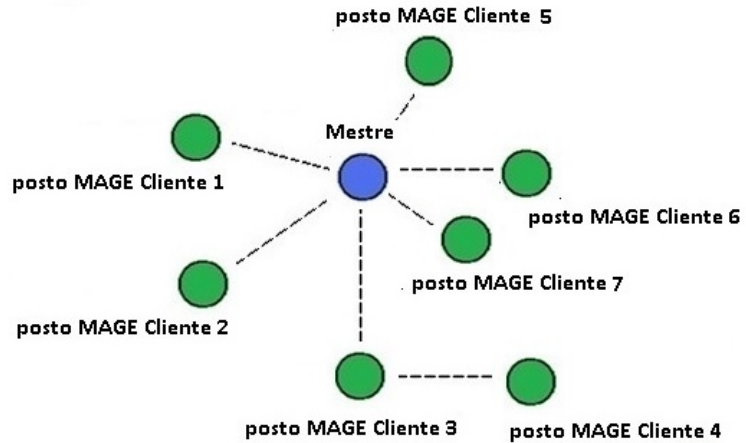


Figura 4.10: Critério 1 de escolha do posto Mestre.

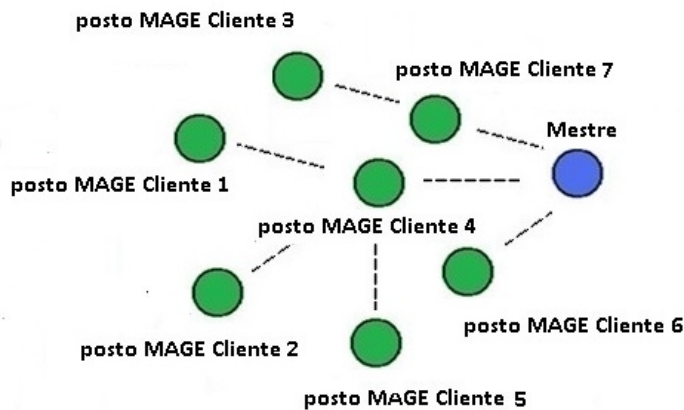


Figura 4.11: Critério 2 de escolha do posto Mestre.

Nesse cenário, como em todos os outros, os postos MAGE Cliente enviam suas TEs ao Mestre. Porém, para testar os dois critérios de escolha do posto Mestre, o tamanho da área simulada é aumentado e alguns postos ficam fora do alcance do posto Mestre.

Os parâmetros utilizados nesse cenário são: (i) início do tráfego de dados pelos postos Cliente aos 10 s após o início da simulação. Nesse cenário alguns postos ficam longe do Mestre, a margem de 10 s assegura a convergência de suas tabelas de roteamento, (ii) quantidades de postos MAGE na rede - 3, 5, 6 e 8 postos. A quantidade é selecionada baseando-se principalmente na densidade de postos na rede medida no cenário 1, (iii) dimensão da área simulada - 300 m x 300 m, para que

alguns postos fiquem fora do alcance do Mestre e (iv) valor do intervalo de HELLO do AODV de 1 s, para analisar o melhor critério de escolha do Mestre com o modo de operação original desse protocolo.

Comentários sobre os resultados das simulações do cenário 3

Nesse cenário observam-se altos valores para as métricas Latência Média e Tempo de Recebimento Médio decorrentes, principalmente, dos altos valores dessas métricas dos postos distantes do Mestre. Esses resultados são provocados por atrasos iniciais na transmissão da TE que alguns postos sofrem devido a problemas no momento do envio (mudança de rota, ausência de rota ou falta de conexão TCP com o Mestre) e a retransmissões de mensagens de dados devido a congestionamentos, distância e a mudanças de rota ao Mestre durante o encaminhamento das TEs (Tabelas 4.15, 4.16, 4.17, 4.18).

Tabela 4.15: Resultados do OLSR com C1 e C2 e IEM (0,01 s).

Nº de postos (C1 x C2)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)	Md. de Pcts. de Controle
3	0,00177 - 0,00455	1,07 - 1,19	90,00 - 89,63	504,60 - 528,00
5	0,02438 - 1,34267	1,18 - 2,94	89,21 - 83,83	947,46 - 809,53
6	0,17518 - 2,61073	1,38 - 2,95	89,11 - 67,96	1160,83 - 837,95
8	0,39333 - 5,11144	1,58 - 3,49	88,29 - 63,72	1621,10 - 1128,46

Tabela 4.16: Resultados do OLSR com C1 e C2 e IEM (0,1 s).

Nº de postos (C1 x C2)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)	Md. de Pcts. de Controle
3	0,03195 - 0,00143	9,57 - 9,89	89,57 - 91,30	502,40 - 537,91
5	0,40267 - 2,50985	11,14 - 10,47	88,59 - 71,16	946,48 - 770,10
6	0,88321 - 2,82608	11,16 - 11,85	87,63 - 66,23	1176,46 - 835,76
8	1,38396 - 4,04832	11,20 - 11,94	86,66 - 62,59	1576,14 - 1099,23

Os valores para Taxa de Entrega são inferiores a 100 % devido aos postos, principalmente aos fora do alcance do Mestre, que não conseguem transmitir suas TEs devido à ausência de rota ao Mestre ou do endereço *MAC* do posto que é a rota ao Mestre durante as simulações e perda da rota ao Mestre durante a transmissão das TEs. Esses problemas são causados, respectivamente, devido as distâncias dos postos mais afastados que os deixam desconectados da rede, por congestionamentos provocando a perda da solicitação do *MAC* e devido ao não recebimento pelo posto distante da mensagem HELLO do posto que é sua rota ao Mestre provocando falha de enlace durante a transmissão da TE.

Tabela 4.17: Resultados do AODV com C1 e C2 e IEM (0,01 s).

Nº de postos (C1 x C2)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)	Md. de Pcts. de Controle
3	0,14424 - 0,23512	1,72 - 2,16	93,97 - 90,17	733,54 - 695,48
5	0,56757 - 0,58426	4,36 - 5,92	92,75 - 86,46	1327,65 - 1258,90
6	0,56787 - 1,50665	4,49 - 6,51	91,11 - 86,34	1650,76 - 1456,69
8	1,07653 - 4,25095	4,50 - 9,91	86,82 - 83,17	2197,92 - 2062,56

Tabela 4.18: Resultados do AODV com C1 e C2 e IEM (0,1 s).

Nº de postos (C1 x C2)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)	Md. de Pcts. de Controle
3	0,19211 - 0,65516	11,75 - 10,71	92,00 - 81,06	725,61 - 665,73
5	1,60932 - 1,69124	13,65 - 12,00	88,53 - 80,73	1290,31 - 1117,06
6	1,66170 - 5,38802	13,69 - 13,35	86,71 - 80,61	1545,80 - 1366,03
8	1,95513 - 7,12642	13,71 - 17,30	86,13 - 79,62	2173,28 - 1888,80

A Taxa de Entrega diminui com o aumento do número de postos na rede devido ao aumento do número de postos enviando pacotes de controle e de TEs no momento da solicitação do *MAC* por parte de alguns postos provocando a perda dessa solicitação, ao aumento de número de postos distantes desconectados da rede e ao aumento do número de postos distantes que perdem a rota para o Mestre durante a transmissão de suas TEs.

Pelo mesmo motivo do Cenário 1, o AODV é o protocolo que apresenta a maior medida de pacotes de controle na rede (Figuras 4.12, 4.13).

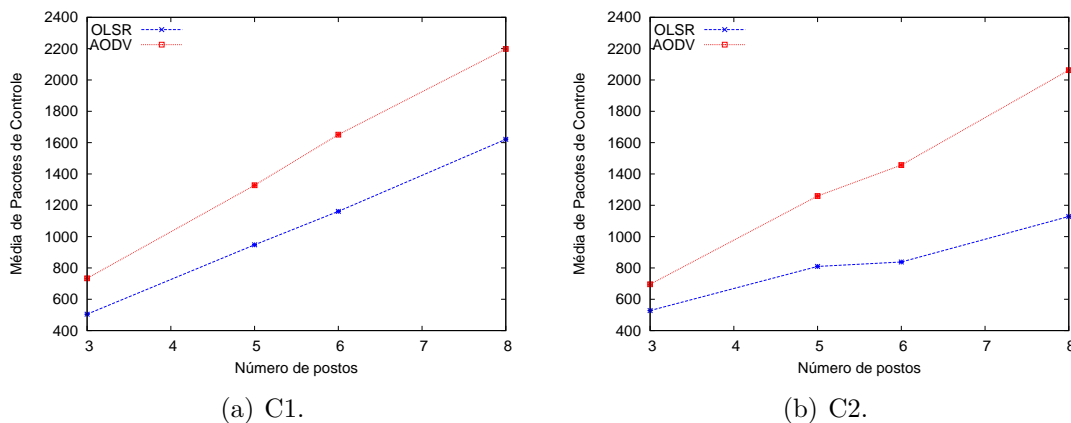
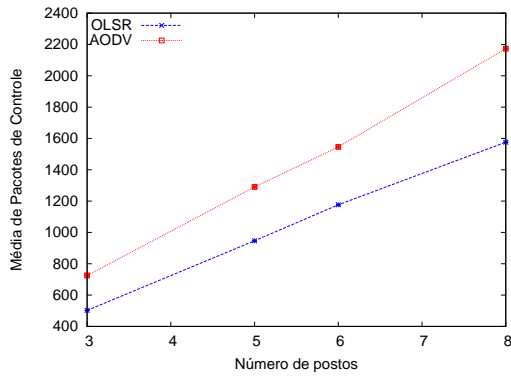
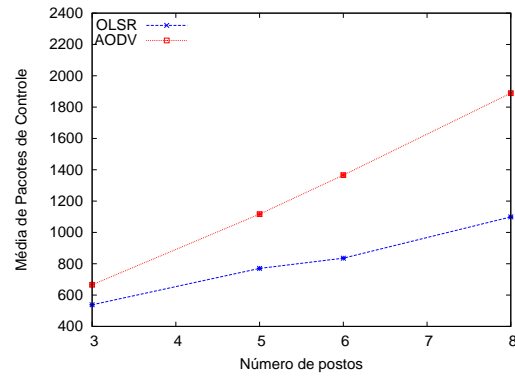


Figura 4.12: Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV - IEM (0,01 s).

De uma forma global, o Critério 1 tem um desempenho melhor que o Critério 2 em relação as métricas Latência Média (Figuras 4.14, 4.15) e Tempo de Recebimento Médio (Tabelas 4.15, 4.16, 4.17, 4.18).

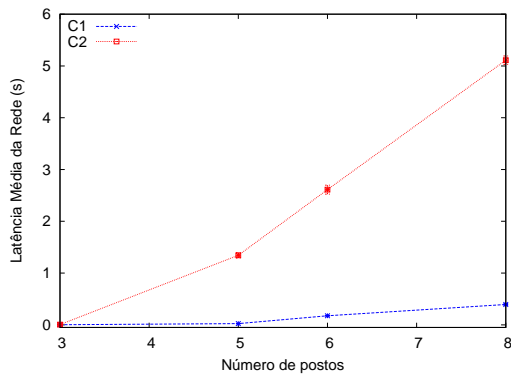


(a) C1.

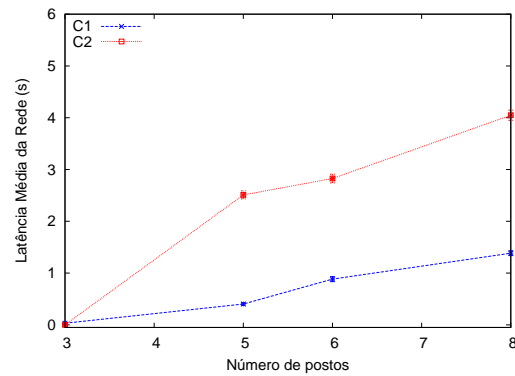


(b) C2.

Figura 4.13: Média de Pacotes de Controle - OLSR x AODV - IEM (0,1 s).

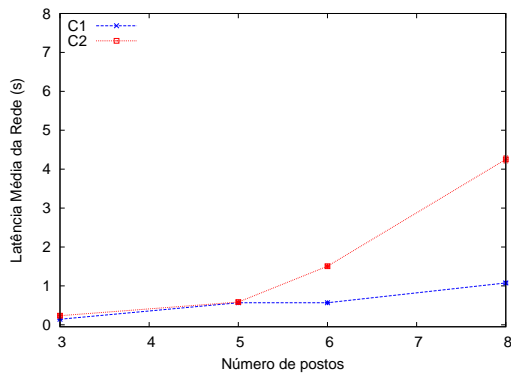


(a) IEM (0,01 s).

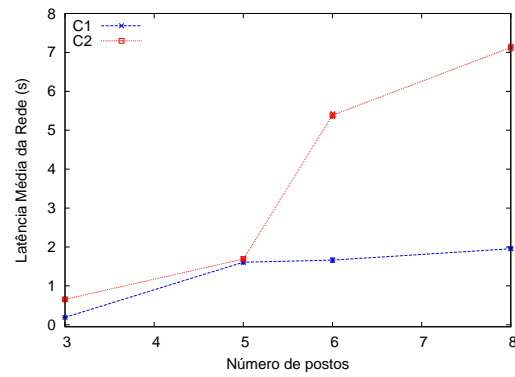


(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.14: Latência Média - OLSR - C1 x C2.



(a) IEM (0,01 s).



(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.15: Latência Média - AODV - C1 x C2.

O critério 1 apresenta um maior valor para Taxa de Entrega das TEs devido a seu algoritmo que seleciona como Mestre o posto que se encontra mais ao centro da área de teste (Ver Figuras 4.16, 4.17). Nesse critério o Mestre tem um maior número de postos vizinhos que possuem rotas estáveis, mais curtas e diretas para o envio de suas TEs. O algoritmo do critério 2 seleciona como Mestre o posto mais afastado do

centro da área simulada possuindo, portanto, um maior número de postos fora de seu alcance, com rotas indiretas, mais longas e muitas vezes instáveis para o envio de suas TEs.

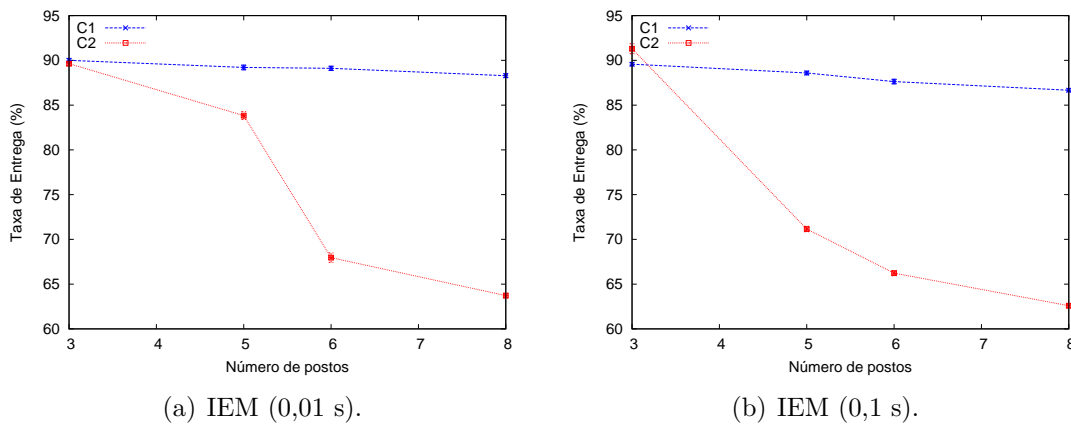


Figura 4.16: Taxa de Entrega Média - OLSR - C1 x C2.

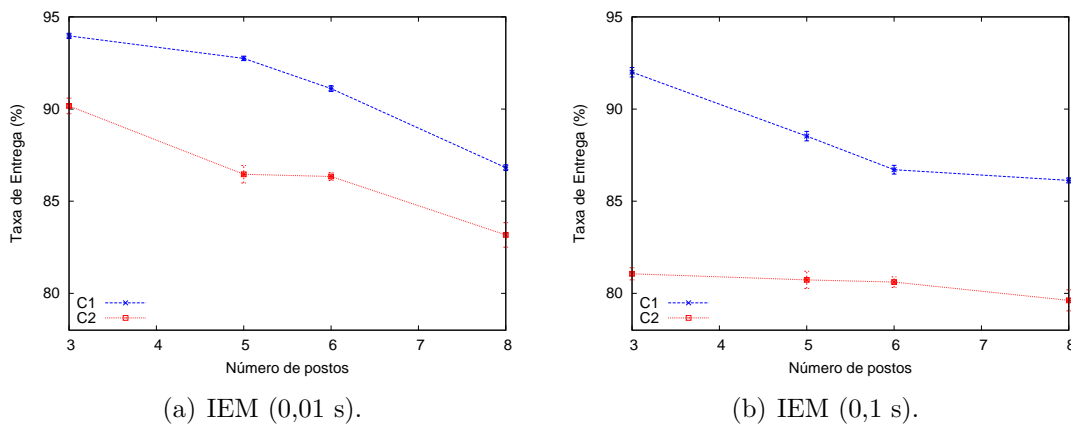


Figura 4.17: Taxa de Entrega Média - AODV - C1 x C2.

Por possuir um maior número de postos vizinhos, o critério 1 apresenta também, em relação ao critério 2, uma menor quantidade de retransmissões de mensagens de dados ligada às grandes distâncias, resultando em menores valores para as métricas Latência Média e Tempo de Recebimento Médio. Os resultados das simulações mostram que o Mestre do critério 2 esteve bem mais afastado dos outros postos da rede que no critério 1, por isso seus valores para Latência Média e Tempo de Recebimento Médio são maiores.

As simulações demonstram que o melhor critério de escolha do posto Mestre é o critério 1, onde os postos estão mais próximos do Mestre. Portanto, para uma missão de LE, a melhor distribuição dos postos na área da missão é aquela que gera um ambiente de vizinhança entre eles com o Mestre posicionado centralmente à essa área. Essa distribuição proporciona rotas mais estáveis, conexões mais duradouras, rápidas e seguras.

4.5.6 Cenário 4

O Cenário 4 busca analisar a viabilidade de comunicação indireta entre postos MAGE durante a missão de LE de forma a aumentar o alcance da RMT. Nesse cenário, como nos anteriores, cada posto MAGE Cliente envia sua TE ao Mestre (Figura 4.18). Porém nesse cenário alguns postos Cliente encontram-se fora do alcance de rádio do Mestre e tentam enviar suas TEs através de postos vizinhos e participar da missão. Cada tabela de emissores deve ser recebida pelo Mestre no máximo em 10 s para ser considerada válida.

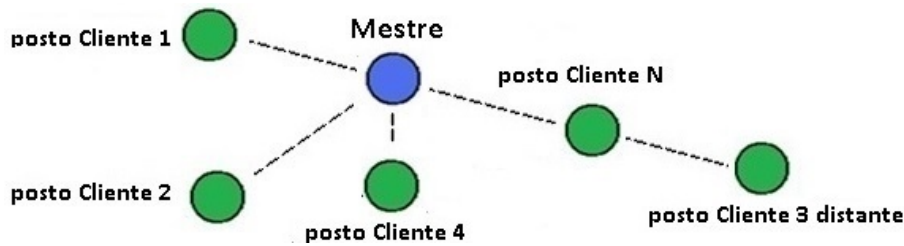


Figura 4.18: O posto Cliente 3 fora do alcance do Mestre tenta enviar sua TE através de um posto vizinho.

Os parâmetros utilizados nesse cenário são: (i) início do tráfego de dados pelos postos Cliente aos 10 s após o início da simulação, (ii) quantidades de postos MAGE na rede - 3, 5, 6 e 8 postos, (iii) dimensão da área simulada - 300 m x 300 m, (iv) critério 1 de escolha do posto Mestre e (v) valor do intervalo de HELLO do AODV de 1 s.

Comentários sobre os resultados das simulações do cenário 4

Os resultados das simulações são mostrados a seguir (Tabelas 4.19, 4.20).

Tabela 4.19: Métricas dos postos distantes - OLSR x AODV com IEM (0,01 s).

Nº de postos (0,01 s)	Latência Md. (s) (OLSR x AODV)	Tempo de Rcb. Md. (s) (OLSR x AODV)
3	0,02889 - 1,20144	3,00 - 9,300
5	0,43545 - 2,33505	4,57 - 16,56
6	2,67214 - 5,12620	6,74 - 22,01
8	4,52306 - 10,0878	8,91 - 23,81

Na maioria das simulações realizadas, as maiores latências ocorrem com o protocolo AODV (Tabelas 4.19, 4.20).

Uma vez que cada nó não recebe atualizações sobre a validade de suas rotas, o protocolo AODV utiliza um mecanismo de manutenção de rotas que consiste em atribuir a cada rota criada um tempo de expiração [49]. Esse tempo é decrementado

Tabela 4.20: Métricas dos postos distantes - OLSR x AODV com IEM (0,1 s)

Nº de postos (0,1 s)	Latência Md. (s) (OLSR x AODV)	Tempo de Rcb. Md. (s) (OLSR x AODV)
3	0,75845 - 4,20476	5,85 - 27,86
5	4,00518 - 4,78865	21,82 - 28,78
6	10,1634 - 5,21515	24,63 - 29,06
8	10,2005 - 9,90890	27,89 - 29,32

quando a rota não é utilizada ou deixou de ser utilizada e quando chega a zero, a rota em questão é apagada da tabela de roteamento.

É observado que o tempo de expiração das rotas indiretas é decrementado muito mais rapidamente que o tempo de expiração das rotas diretas, sendo que as rotas diretas se mantêm durante todo o tempo de simulação porque são atualizadas pelo mecanismo de manutenção de rotas com suas mensagens HELLO. As rotas indiretas apagadas não foram atualizadas por esse mecanismo porque não foi recebida a mensagem HELLO dos postos dessas rotas. O AODV utiliza a mensagem HELLO no seu mecanismo de manutenção de rotas para validar as rotas das tabelas de roteamento. A ausência dessa mensagem indica falha de enlace [50].

Em muitas simulações, por volta dos 12 s, a rota ao Mestre do posto distante já está inativa com o seu *status down*. Como em muitas simulações os postos enviam suas TEs após os 12 s, quando chega o momento do envio das TEs, alguns postos distantes não tem mais rota ativa ao Mestre e o AODV inicia um novo processo de descoberta de rota. Esse procedimento contribui para tornar as latências do AODV em geral maiores que as do OLSR (Ver Figura 4.19). O cruzamento das curvas na Figura 4.19 à direita deve-se a casos verificados nas simulações com o OLSR de alguns postos que tiveram altos valores para latência (117 s) devido as grandes distâncias que se encontravam da rede deixando-os quase desconectados.

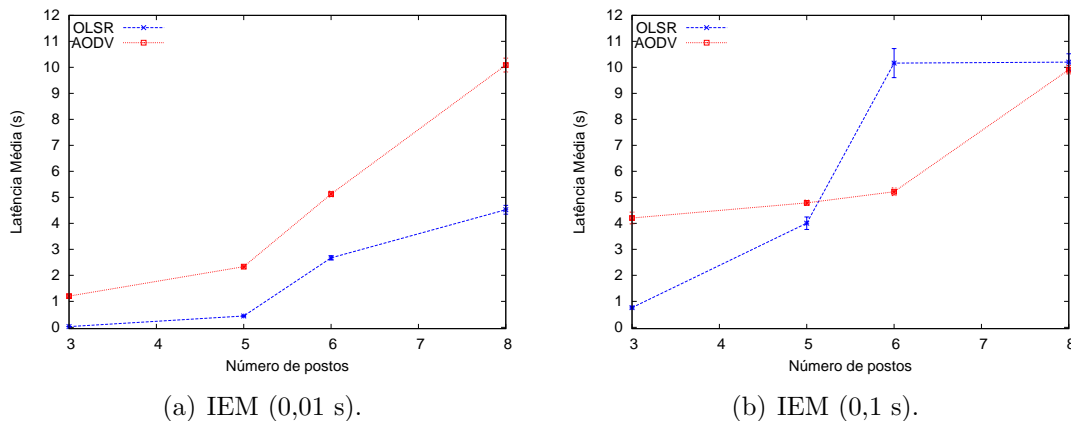


Figura 4.19: OLSR x AODV - Latência Média dos postos distantes.

No processo de atualização de rotas do OLSR, periodicamente os nós enviam em *broadcast* mensagens de HELLO com informações de sua vizinhança local e mensagens TC, através de seus *MPRs*, com suas tabelas de roteamento. Dessa forma, os nós possuem o mapa completo da topologia da rede. Se por acaso não chega o HELLO do posto vizinho, que é a rota do posto distante para o Mestre, o posto distante tem a topologia da rede e usa uma outra rota para o Mestre caso haja disponibilidade.

No total das simulações realizadas, a maioria dos atrasos iniciais ocorridos no envio das TEs com o OLSR é provocada por mudanças de rota ao Mestre na hora do envio. Essas mudanças são decorrentes da instabilidade das rotas provocada pelas grandes distâncias entre os postos distantes e seus vizinhos.

Os altos valores medidos para a métrica Tempo de Recebimento Médio são em decorrência de mudança de rota durante a transmissão das TEs e retransmissões de mensagens de dados das TEs (Ver Figura 4.20).

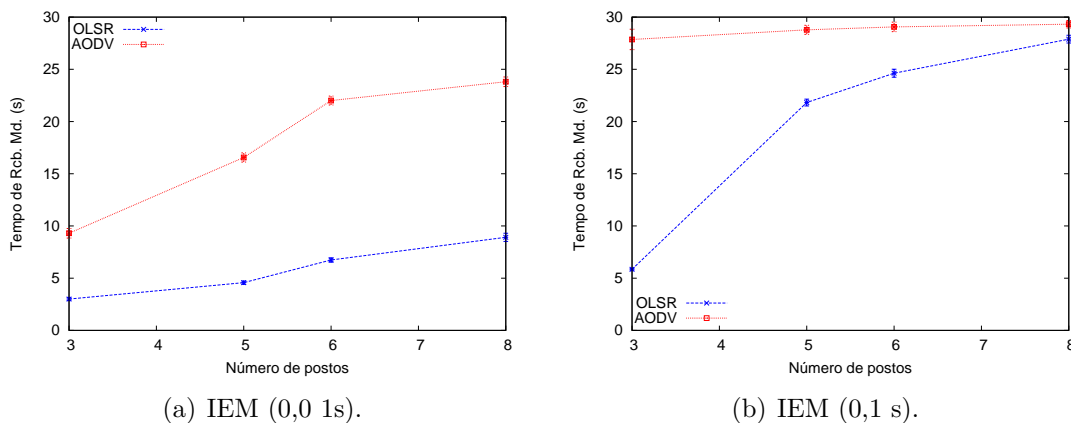


Figura 4.20: OLSR x AODV - Tempo médio de recebimento das TEs dos postos distantes.

Em algumas simulações o mecanismo de descoberta de rotas do AODV é disparado quando ocorre mudança de rota durante a transmissão de algumas TEs provocando o aumento no valor da métrica Tempo de Recebimento Médio desse protocolo e contribuindo para tornar esse valor maior que o do OLSR.

A Tabela 4.21 apresenta um resumo de todas as situações encontradas com as TEs dos postos distantes no total das simulações realizadas nesse cenário com os protocolos OLSR e AODV.

Durante as simulações, com os dois protocolos a maioria dos resultados obtidos com os postos distantes do Mestre apresenta valores incompatíveis a uma missão de LE (Tabelas 4.19 4.20). Devido à instabilidade das rotas, são observados: (i) atraso inicial de transmissão na fonte no envio das TEs, (ii) retransmissões de mensagens das TEs e (iii) TEs não enviadas ou enviadas incompletas.

São observados de baixos (0,00001 s) a altos valores (127 s) para os atrasos iniciais

Tabela 4.21: TEs dos postos distantes - resultados obtidos das simulações com os protocolos OLSR e AODV.

TEs dos postos distantes	OLSR (%)	AODV (%)
recebidas integralmente	80,30	68,65
enviadas sem atraso inicial	59,09	41,66
recebidas em menos de 10 s	60,37	56,17

ocasionados por mudança ou ausência de rota ao Mestre no momento do envio das TEs. O alto valor da métrica Latência Média é devido a esses atrasos iniciais e a retransmissões de mensagens das TEs. Com o AODV, em muitas simulações por volta dos 12 s, as rotas indiretas ao Mestre são desativadas, provocando um aumento na latência dos postos distantes que encaminham suas TEs após os 12 s nessas simulações.

As retransmissões de mensagens das TEs aumentam a Latência Média e o tempo de recebimento das mesmas pelo Mestre. Essas retransmissões são provocadas por colisões de mensagens das TEs em transmissão em momentos próximos, distância dos postos distantes e mudanças de rota durante a transmissão das TEs. A instabilidade das rotas causa o envio de TEs incompletas devido à interrupção da transmissão e a não transmissão de TEs devido à ausência de rota ou ausência do endereço *MAC* durante toda a simulação.

Analisando os resultados obtidos à luz de uma missão tática, os dois protocolos apresentam valores incompatíveis a uma missão de LE.

Em geral, o desempenho do OLSR é melhor que o do AODV, mas os resultados atestam que, nesse cenário, um posto MAGE fora do alcance do Mestre pode se valer de um posto MAGE vizinho para enviar sua TE durante a inicialização da missão de LE mas não pode participar da missão.

4.5.7 Cenário 5

O cenário 5 analisa a possibilidade de aumento no número de postos na RMT com o OLSR, aumentando o valor do intervalo de envio de suas mensagens HELLO.

Como o intervalo de envio das mensagens HELLO é um parâmetro que pode ser ajustado no protocolo [43], é analisado o comportamento do OLSR com esse intervalo modificado. Reduzindo a carga de controle gerada por esse protocolo, é verificada a possibilidade de aumento no número de postos MAGE na rede durante a missão de LE.

Os parâmetros utilizados nesse cenário são: (i) intervalo entre HELLO do OLSR de 4 s, (ii) dimensão da área simulada de 100 m x 100 m, para respeitar o critério de vizinhança, uma vez que foi verificado no cenário 4 a impossibilidade de comunicação

indireta entre os postos MAGE, (iii) início do tráfego de dados aos 10 s, por não se conhecer o tempo de convergência das tabelas de roteamento nos postos com HELLO a cada 4 s, (iv) número de postos MAGE - 3 a 8 postos e (v) Critério 1 de escolha do posto Mestre, por ter apresentado o melhor desempenho verificado no cenário 3.

Comentários sobre os resultados das simulações do cenário 5

A mensagem HELLO, assim como toda mensagem do protocolo OLSR, possui um tempo de vida $Vtime$, contido no cabeçalho da mensagem. O $Vtime$ indica o tempo de vida da informação contida na mensagem (em segundos) [51]. No caso da mensagem HELLO, esse tempo é função do valor do intervalo de envio dessas mensagens (*olsr-routing-protocol.cc* [52]).

$Vtime$ é calculado como sendo:

$$Vtime = (3) * (intervalo_HELLO)$$

Mudando o intervalo de envio das mensagens HELLO do OLSR para 4 s, o valor $Vtime$ dessa mensagem deve ser ajustado para 12 s, segundo a fórmula acima descrita.

Testando o OLSR com esses parâmetros modificados, obtêm-se os resultados que se seguem (Tabelas 4.22, 4.23) [51].

Tabela 4.22: Resultados do OLSR - HELLO (2 s) x HELLO (4 s) - IEM (0,01 s).

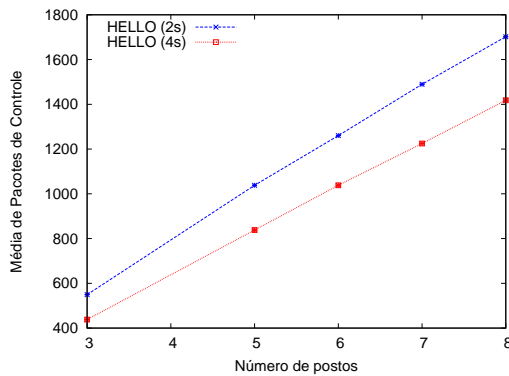
Nº de postos (2 s x 4 s)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)	Md. de Pacotes de Controle
3	0,00028 - 0,00041	0,98 - 0,98	100 - 100	549,50 - 438,17
5	0,00083 - 0,00070	0,98 - 0,98	100 - 100	1038,16 - 838,22
6	0,00094 - 0,00089	0,98 - 0,98	100 - 100	1260,29 - 1038,16
7	0,00113 - 0,00099	0,98 - 0,98	99,16 - 98,61	1489,42 - 1225,01
8	0,00115 - 0,00101	0,98 - 0,98	97,14 - 98,21	1702,16 - 1418,17

Em relação ao número de postos na RMT, chega-se ao mesmo resultado de 6 postos medido no cenário 1, porém com menos pacotes de controle gerados pelo OLSR (Tabelas 4.22, 4.23 e Figura 4.21). Portanto, essa configuração do OLSR sobrecarrega menos a rede atendendo mais ao requisito do modelo da RMT de interferência mínima no SMR e diminui o consumo de energia nos postos MAGE.

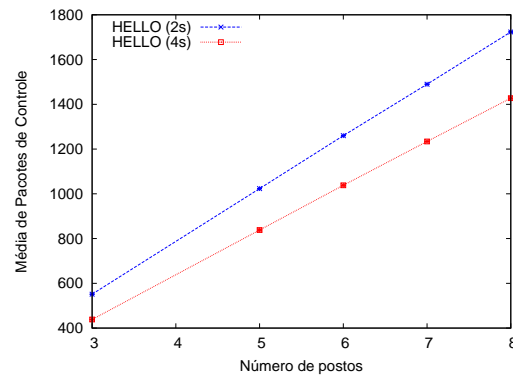
A topologia da RMT numa missão de LE é formada por postos MAGE fixos e vizinhos (concluído no cenário 4), com rotas estáveis entre eles. Portanto, não existe a preocupação de mudança na topologia da rede devido à mobilidade dos postos.

Tabela 4.23: Resultados do OLSR - HELLO (2 s) x HELLO (4 s) - IEM (0,1 s).

Nº de postos (2 s x 4 s)	Latência Md. (s)	Tempo de Rcb. Md. (s)	Taxa de Entrega Md. (%)	Md. de Pacotes de Controle
3	0,00124 - 0,00149	9,89 - 9,89	100 - 100	551,30 - 438,30
5	0,00240 - 0,00240	9,89 - 9,89	100 - 100	1023,23 - 838,07
6	0,00280 - 0,00280	9,89 - 9,89	100 - 100	1259,99 - 1038,08
7	0,00314 - 0,00311	9,89 - 9,89	99,25 - 99,54	1489,84 - 1234,09
8	0,00347 - 0,00348	9,89 - 9,89	99,04 - 99,04	1723,23 - 1427,46



(a) IEM (0,01 s).



(b) IEM (0,1 s).

Figura 4.21: Média de Pacotes de Controle - HELLO (2 s) x HELLO (4 s).

Baseado na topologia da RMT, o OLSR poderia ser aplicado à mesma com seus atributos HELLO e Vtime ajustados, usando as informações da camada de enlace do 802.11 para a detecção de falha de enlace provocada por motivos outros tais como fatores climáticos.

Como a topologia da RMT não é 100% estática, essa configuração particular do OLSR deve ser estudada mais detalhadamente através de simulações com outros modelos de propagação.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusões

Essa dissertação de mestrado apresentou um modelo de Rede Militar Tática (RMT) *ad hoc* que utiliza os protocolos de roteamento OLSR e AODV quando empregada em missões de Localização Eletrônica (LE).

O objetivo desse trabalho foi de avaliar a melhor configuração dessa rede militar numa missão de LE, ou seja, número máximo de postos na rede e o melhor posicionamento dos mesmos na área da missão, que atendesse aos requisitos das missões de LE. Tais requisitos são a latência da mensagem tática, que deve ser em torno de milissegundos, e o recebimento integral de cada tabela de emissores pelo Mestre no máximo em 10 s para que suas informações sejam consideradas válidas.

Para a realização dessa análise, simulações foram feitas com o auxílio do simulador de redes NS-3 sobre cenários construídos que descrevem a inicialização da missão de LE onde parâmetros, tais como a distância entre veículos, foram modificados de acordo com o objetivo de cada cenário. Os resultados obtidos foram confrontados com os requisitos descritos acima.

Por ser a missão de LE uma aplicação tática, com restrições de atraso e mensagens de curta duração de vida, as simulações realizadas foram de perto analisadas. Os resultados obtidos das simulações fazem parte da contribuição inicial dada ao estudo desse modelo particular de rede e permitiram chegar as seguintes conclusões:

- A quantidade máxima de postos se conectando ao Mestre no mesmo momento e enviando suas TEs em momentos próximos com garantia de recebimento integral pelo Mestre no máximo em 10 s, é de 6 postos (verificado no cenário 1). Essa quantidade foi calculada num ambiente de vizinhança entre os postos e com os dois protocolos operando em seus modos originais, segundo suas *RFCs*. Acima de 6 postos, a rede começou a ficar saturada com todo tipo de mensagens, aumentando a disputa pelo meio e o número de colisões, fazendo

a taxa de entrega das TEs diminuir consideravelmente nos dois protocolos.

Nesse ambiente de vizinhança, o OLSR apresentou bons valores para latência e tempo de recebimento das TEs para todas as quantidades de postos testadas. O AODV apresentou bons valores até 6 postos na rede e a partir de 7 postos apareceram atrasos iniciais no envio das TEs com esse protocolo devido a seu mecanismo de descoberta de rotas: durante o processo de descoberta de rotas foi gerada uma grande sobrecarga de roteamento e alguns postos não conseguiram inicialmente uma rota direta para o Mestre. Quando chegou o momento de transmitir suas TEs, a rota era direta, porque o mecanismo de manutenção de rotas do AODV tinha passado e atualizado as rotas. Com a mudança da rota os postos tiveram que solicitar o endereço *MAC* do posto da nova rota provocando atrasos iniciais na transmissão dessas TEs.

Em relação à quantidade de pacotes de controle, o OLSR apresentou a menor medida devido ao seu intervalo de envio das mensagens de HELLO ser de 2 s e o do AODV ser de 1 s.

Segundo os resultados das simulações, conclui-se que a quantidade máxima de postos na RMT em uma missão de LE é de 6 postos. Essa quantidade é a máxima conseguida com os dois protocolos que respeita os requisitos da missão de LE. Porém, o OLSR apresentou uma menor quantidade de pacotes de controle sendo, portanto, o mais adequado a ser aplicado à RMT. Essas conclusões foram obtidas com os protocolos OLSR e AODV em seus modos de operação originais.

- A comunicação indireta entre postos MAGE não é recomendada (verificado no cenário 4). Os testes mostraram casos de falha de enlace devido à instabilidade das rotas provocando, em consequência, altos valores para a métrica Latência. O requisito de recebimento da TE no máximo em 10 s quase não foi atendido pelo AODV e com o OLSR ele só foi atendido praticamente com o IEM de 0,01 s (IEM - Intervalo Entre Mensagens da TE), mas com altos valores para esse intervalo.

A comunicação indireta deve ser evitada principalmente com o AODV, devido ao seu mecanismo de manutenção de rotas que utiliza temporizadores nas mesmas: em muitas simulações, quando os postos foram transmitir suas TEs, as rotas não eram mais válidas e o AODV iniciou um processo de descoberta de rota no momento da transmissão das TEs provocando atraso inicial na transmissão das mesmas.

Segundo os resultados das simulações, o melhor posicionamento dos postos MAGE no local da missão é aquele que proporciona um ambiente de vizinhança

entre eles. Uma vez vizinhos, os postos terão rotas mais curtas e estáveis entre eles. Essa conclusão foi obtida com os protocolos OLSR e AODV em seus modos de operação originais.

- O melhor critério de escolha do posto Mestre é o critério 1, onde o Mestre possui um maior número de postos vizinhos (verificado no cenário 3). Essa distribuição proporciona rotas mais curtas e estáveis entre os postos Cliente e o Mestre.
- Como o comportamento dos protocolos pode ser modificado alterando alguns dos seus atributos, o cenário 1, que testa a quantidade de postos na rede num ambiente de vizinhança, foi retestado modificando o intervalo de HELLO dos dois protocolos: o AODV operando com seus HELLO a cada 2 s, ficando com o intervalo dessas mensagens igual ao do OLSR, apresentou a mesma quantidade de 6 postos na rede medida no cenário 1, mas com menor carga de roteamento, se igualando ao OLSR (verificado no cenário 2). O OLSR operando com seus HELLO a cada 4 s apresentou a mesma quantidade de postos na rede medida no cenário 1 mas com menor quantidade de pacotes de controle (verificado no cenário 5).

Os dois protocolos com seus parâmetros ajustados como descrito acima, apresentaram o mesmo número de postos na rede medida no cenário 1, mas com uma menor quantidade de pacotes de controle. Porém, essas novas configurações devem ser testadas com outros modelos de propagação pois as mensagens de HELLO são usadas nos dois protocolos para a detecção de vizinhança. Com o aumento no intervalo de envio dessas mensagens, testes com outros modelos de propagação permitiriam avaliar o comportamento dos protocolos em caso de falha de enlace.

- O IEM de 0,01 s apresentou melhores valores para latência e tempo de recebimento das TEs pelo Mestre sendo esses valores bem menores que os valores apresentados pelo IEM de 0,1 s. Porém o IEM de 0,01 s interfere muito mais no SMR pois ocupa mais o meio de comunicação durante o envio das mensagens de suas TEs.
- Quanto à quantidade de pacotes de controle gerada por cada protocolo em seus modos originais de operação, o OLSR apresentou a menor medida devido ao seu intervalo de envio das mensagens HELLO ser de 2 s e o do AODV ser de 1 s.
- Os postos MAGE devem se conectar ao Mestre de forma assíncrona evitando o congestionamento de solicitações de endereço *MAC* em direção ao Mestre, o

que pode causar perdas dessas solicitações.

5.2 Trabalhos Futuros

Dando continuidade a esse trabalho, faz-se necessário testar os protocolos OLSR e AODV em outras situações com o intuito de aprimorar o modelo da RMT em missões de LE. Como sugestões de trabalhos futuros, enumera-se:

- Reavaliar as métricas testadas nesse trabalho:
 - Com outros modelos de propagação que provoquem atenuação do sinal ou falha de enlace.
 - Com outros tamanhos de mensagens de dados como, por exemplo, mensagens de 100 bytes - Nesse caso a TE completa seria enviada ao Mestre em 50 mensagens de 100 bytes.
 - Com outros valores de IEM que contribuam para que a TE seja recebida no máximo em 10 s mas que os envios das suas mensagens não degradem significativamente o desempenho do Sistema MAGE Radar (SMR).
 - Com outros cenários que simulem a comunicação entre os postos (envio das TEs, envio de dados de emissores específicos, ...) durante a missão de LE, ou seja, com a missão já inicializada.
- Num ambiente de vizinhança, analisar o tempo que os protocolos levam para calcular uma nova rota entre um posto Cliente e o Mestre, no caso de falha do enlace entre os dois, verificando o impacto desse tempo nas métricas.
- Testar com outros modelos de propagação, os protocolos AODV e OLSR com seus valores de intervalo entre HELLO modificados (retestar os cenários 2 e 5) - Acompanhando o valor das métricas, verificar o desempenho desses protocolos quando ocorre falha de enlace.

Referências Bibliográficas

- [1] NUNES, B. A. A. *Fatores Impactantes na Performance de Redes Ad Hoc - Redes Integradas de Faixa Larga*. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2003. Disponível em: <http://www.garf.coppe.ufrj.br/PDFs/mono_bruno_2003.pdf>.
- [2] GOLDMAN, J. E., RAWLES, P. T. *Local Area Networks. A Business-Oriented Approach*. 2 ed. , John Wiley and Sons, Inc., 2000.
- [3] JR, N. A., SILVA, S. L. P. *Introdução as Redes Wireless*. Relatório técnico, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Disponível em: <<http://mesonpi.cat.cbpf.br/redes/wireless.pdf>>.
- [4] PEREIRA, I. C. M. *Análise de Redes Móveis Ad Hoc para Cenários de Operações Militares*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, jan. 2004. Programa de Engenharia Elétrica - Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) .
- [5] IPQM. “Instituto de Pesquisas da Marinha”, *Projetos do Grupo de Guerra Eletrônica (GGE)*, 2011. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/ipqm/v.1.0.0/index.htm>>.
- [6] EXPEDIÇÃO. “Desenho de Jeep”, *Expedição Brasil - Uruguai 2012*, acessado em 2015. Disponível em: <<http://expedicaobrasiluruguai2012.blogspot.com.br/2012/02/desenho-de-jeep-3.html>>.
- [7] SILVA, J. Q., MOREIRA, L. H., SALLES, R. M., et al. “Avaliação de desempenho de tráfego multimídia em Sistema Tático de Comunicações do Exército Brasileiro”. In: *XXIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES*, pp. 1–6. SBRT’11, 02-05 DE OUTUBRO DE 2011, CURITIBA, PR, 2011.
- [8] FERREIRA, F. M. D. *Caracterização de Redes Sem Fios Multihop Não Planeadas*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2009. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática.

- [9] HARRIS. “RF Communications Division HARRIS”, *Tactical Communications*, acessado em 2014. Disponível em: <<http://rf.harris.com/about.asp#0>>.
- [10] KUROSE, J. F., ROSS, K. W. *Redes de Computadores e a Internet*. Uma abordagem top-down. 3 ed. , PEARSON - Addison Wesley, 2006.
- [11] VIVIAN, D., WESTPHALL, C. B. “Comparação de Desempenho de Protocolos de Roteamento Seguro para Redes Sem Fio Ad Hoc”. In: *Anais do XXVI Congresso da SBC, SEMISH - XXXIII Seminário Integrado de Software e Hardware*, p. 83, 2006.
- [12] XIAOYAN, H., KAIXIN, X., GERLA, M. “Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks”, *IEEE Network*, pp. 11–21, 2002. Disponível em: <<http://nrlweb.cs.ucla.edu/publication/download/231/hong-routing.pdf>>.
- [13] RASHMI, VAIBHAV, J., PAWAN, K. “Improved OLSR Protocol in MANET”, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, v. 3, n. 2277 128X, pp. 174–178, 2013. Disponível em: <http://www.ijarcse.com/docs/papers/Volume_3/8_August2013/V3I8-0109.pdf>.
- [14] CLAUSEN, T., JACQUET, P. *RFC 3626 - OLSR - Optimized Link State Routing*. Relatório técnico, Project Hipercom - INRIA, 2003. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>>.
- [15] MORAES, A. L., XAUD, A. F. S., XAUD, M. F. S. *Redes Ad Hoc - Protocolos DSR, AODV, OLSR e DSDV*. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - GTA, 2009. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/adhoc/index.html>.
- [16] NAIMI, A., JACQUET, P. *Le Contrôle du Délai dans le Protocole OLSR*. Relatório técnico, INRIA Rocquencourt - Rapport de recherche n° 4894 - 23 May, 2006. Disponível em: <<https://hal.inria.fr/inria-00071688/document>>.
- [17] MONTEIRO, J. G. *Uso de grafos evolutivos no roteamento em redes dinâmicas: algoritmos, fluxos e limites*. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, jun. 2007. Instituto de Matemática e Estatística.
- [18] CAMPISTA, M. E. M. *Um Novo Protocolo de Roteamento para Redes em Malha Sem Fio*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - GTA, 2008.

- [19] SIQUEIRA, B. B. *Protocolo de Roteamento Baseado em ID para Redes Sem Fio em Malha com Topologia Linear*. Tese de Mestrado, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói - Rio de Janeiro, 2014. Programa de Pós-Graduação em Computação.
- [20] CLAUSEN, T., JACQUET, P., VIENNOT, L. *Comparative Study of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks*. Relatório técnico, HIPERCOM - INRIA Rocquencourt, Rapport de recherche - 8 Apr, 2010. Disponível em: <<https://hal.inria.fr/inria-00471702/document>>.
- [21] TAKEI, D. J. *Wireless Network and Mobile Systems: OLSR - Advanced Internet Technology-III*. Relatório técnico, WIDE University, School of Internet, 2007. Disponível em: <http://http://www.soi.wide.ad.jp/class/20060035/slides/04/index_42.html>.
- [22] SCHWARTZ, U., MAGNUS, N. “A rede que se Mesh”, *Linux Magazine Online*, v. 51, pp. 60–64, 2009. Disponível em: <http://www.linuxnewmedia.com.br/images/uploads/pdf_aberto/LM_51_60_64_05_redes_mesh.pdf>.
- [23] SCHILLER, F. O. S. B. *Estudo, Implementação e Análise de Métricas Baseadas na Qualidade do Enlace para o Protocolo OLSR*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2007. Departamento de Eletrônica e de Computação.
- [24] ESPOSITO, P. M., SCHILLER, F. O. S. B., CAMPISTA, M. E. M., et al. *Implementação da Métrica de Roteamento Tempo Esperado de Transmissão em Redes em Malha Sem Fio*. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Grupo de Teleinformática e Automação (GTA), 2014. Disponível em: <<http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi/TechReports/ESC07.pdf>>.
- [25] PLESSE, T., LECOMTE, J. “OLSR performance measurement in a military mobile ad hoc network”, *24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2004. Proceedings, IEEE, vol.24th*, pp. 704–709, 2004.
- [26] PERKINS, C., BELDING-ROYER, E., DAS, S. *Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing*. Relatório técnico, Network Working Group - Request for Comments: 3561 - July, 2003. Disponível em: <<https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>>.

- [27] PRASHANT, K. M., GAURAV, S., VAISHALI, S., et al. “An Overview of AODV Routing Protocol”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, v. 2, n. 2249-6645, pp. 728–732, 2012. Disponível em: <http://ijmer.com/papers/vol2_issue3/AC23728732.pdf>.
- [28] INRIA. *Les protocoles de routage dans le réseaux ad hoc - Chapitre 3*. Relatório técnico, INRIA - ALPES. Disponível em: <<http://opera.inrialpes.fr/people/Tayeb.Lemlouma/Papers/MasterThesis/Chapitre3.pdf>>.
- [29] OLIVEIRA, C. T. *Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)*. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Grupo de Telemática e Automação (GTA), 2006. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/ensino/CPE825/2006/resumos/TrabalhoAODV.pdf>>.
- [30] SAINI, G., DEMBLA, D. “Modeling, Implementation and Performance Evaluation of E-AODV Routing Protocol in MANETs”, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, v. 3, n. 2277 128X, pp. 1221–1227, 2013. Disponível em: <http://www.ijarcsse.com/docs/papers/Volume_3/7_July2013/V3I7-0489.pdf>.
- [31] DARPA. *TCP - Transmission Control Protocol - RFC 793*. Relatório técnico, DARPA Internet Program - September, 1981. Disponível em: <<https://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>>.
- [32] GIRON, A. A. *Redes de Computadores - Camada de Transporte*. Relatório técnico, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Disponível em: <<http://www.inf.unioeste.br/~giron/redes/aulas/2%20camadaTransporte.pdf>>.
- [33] RIOS, R. O. *Protocolos e Serviços de Redes*. Relatório técnico, Ministério da Educação - Colatina - Espírito Santo, 2012. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_infor_comun/tec_inf/081112_protoserv_redes.pdf>.
- [34] LOPEZ, N. G. *IP SECURITY*. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - GTA, 2003. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/03_1/ip-security/paginas/introducao.html>.
- [35] GERSHENFELD, N. *Internet Protocols*. Relatório técnico, Internetworking Technology Overview, jun 1999. Disponível em: <<http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/961.04/people/neil/ip.pdf>>.
- [36] TANENBAUM, A. S., WETHERALL, D. J. *Computer Networks*. Fifth Edition. 5 ed. , Pearson, 2011.

- [37] PILLOU, J. F. *Le protocole TCP*. Relatório técnico, Commentçamarche.net, 2015. Disponível em: <<http://www.commentcamarche.net/contents/538-1e-protocole-tcp>>.
- [38] CAMPISTA, M. E. M. *Redes de Computadores - Camada de Transporte e seus Protocolos*. Relatório técnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Grupo de Teleinformática e Automação (GTA), 2013. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/~miguel/docs/redes/aula4.pdf>>.
- [39] ROESLER, V. *Desempenho em redes TCP/IP*. Relatório técnico, Universidades UNISINOS e UFRGS, 2001.
- [40] PANORAMIO. “VEGETAÇÃO FORRAGEIRA EM CAMPOS NOVOS”, *Santa Catarina*, acessado em 2015. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/user/5787939/tags/CULTIVO>>.
- [41] DOCUMENTAÇÃO. “Network Simulator 3”, *NS-3*, 2013. Disponível em: <<http://www.nsnam.org/docs/release/3.13/tutorial-pt-br/singlehtml/index.html>>.
- [42] CAVALCANTI, J. L. *Análise Comparativa dos Algoritmos de Controle de Congestionamento do TCP*. Relatório técnico, Escola Politécnica de Pernambuco - Departamento de Sistemas Computacionais, 2005. Disponível em: <<http://tcc.ecomp.poli.br/JulianaCavalcanti.pdf>>.
- [43] ROS, F. J., CARNEIRO, G. “Optimized Link State Routing (OLSR)”, *University of Murcia (Spain) and INESC Porto (Portugal)*, Acessado em 2014. Disponível em: <<http://www.nsnam.org/docs/release/3.13/models/html/olsr.html>>.
- [44] BUCHATSKAIA, E., BOYKO, P. *Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) - RFC 3561*. Relatório técnico, ITTP RAS, 2014. Disponível em: <<http://www.nsnam.org/docs/release/3.14/models/html/aodv.html>>.
- [45] VIEIRA, M. A. M. *Redes de Computadores - Camada Física*. Relatório técnico, Departamento de Ciência da Computação - UFMG, 2014. Disponível em: <http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/redes/rc2_fisica.pdf>.
- [46] TELECOM. “Inteligência em Telecomunicações - Telefonia Celular”, *Modelos de Propagação*, acessado em 2014. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallogsm1/pagina_4.asp>.

- [47] VOORHAEN, M., BLONDIA, C. “Analyzing the Impact of Neighbor Sensing on the Performance of the OLSR protocol”. In: *Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, 4th International Symposium, pp. 1–6, 2006.
- [48] YOUNG-BAE KO, J.-M. C. “A performance evaluation for ad hoc routing protocols in realistic military scenarios”, *9th International Conference on Cellular and Intelligent Communications*, 5p., 2004. Disponível em: <<http://uns.ajou.ac.kr/publications/paper/C2004/cic2004.pdf>>.
- [49] ZHAN HUAWEI, Z. Y. “Comparison and Analysis AODV and OLSR Routing Protocols in Ad Hoc Network”, *AODV and OLSR*, 2008.
- [50] REZENDE, J. F. “Redes Móveis - Programa de Engenharia Elétrica”, *Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*, 2012.
- [51] MARQUES JOSÉ, D. A. *OLSR Fuzzy Cost (OLSR-FC): uma extensão ao protocolo OLSR baseada em lógica Fuzzy e aplicada à prevenção de nós egoístas*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, jun. 2014. Instituto de Informática .
- [52] NS-3. “Network Simulator 3 - olsr-routing-protocol.cc”, *Protocolo OLSR - Código Fonte*, Acessado em 2015. Disponível em: <http://www.nsnam.org/doxygen/olsr-routing-protocol_8cc_source.html>.