



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

INVESTIGAÇÃO DO USO DE VANTS EM REDES OPORTUNÍSTICAS ESPARSAS

José Carlos de Albuquerque

**Orientadores:**

Sidney Cunha de Lucena  
Carlos Alberto V. Campos

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
SETEMBRO DE 2013

Albuquerque, José Carlos de.

A345 Investigação do uso de VANTS em redes oportunísticas esparsas/

José Carlos de Albuquerque, 2013

71 f.;30cm

Orientador: Sidney Cunha de Lucena.

Coorientador: Carlos Alberto V. Campos.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

1. Algoritmos computacionais - sistemas de comunicação. 2. DTN (Redes de computadores). 3. Veículos aéreos não tripulados. 4. Assistência em emergências. I. Lucena, Sidney Cunha de. II. Campos, Carlos Alberto V. III. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Curso de Mestrado em Informática. VI. Título.

CDD - 005.1

# INVESTIGAÇÃO DO USO DE VANTS EM REDES OPORTUNÍSTICAS ESPARSAS

José Carlos de Albuquerque

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO). APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA ABAIXO ASSINADA.

Aprovada por:

---

Sidney Cunha de Lucena, D.Sc. – UNIRIO

---

Carlos Alberto Vieira Campos, D.Sc. – UNIRIO

---

Guilherme Dutra Gonzaga Jaime, D.Sc. – CNEN

---

Morganna Carmem Diniz, D.Sc. – UNIRIO

# **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador e ao meu co-orientador que sempre me incentivaram e ajudaram. Aos meus amigos que tanto me ajudaram ao longo do caminho. Aos colegas aeromodelistas que em verdadeiro espírito de equipe tanto me auxiliaram e em especial aos amigos Jorge "Bidu" sem o qual não conseguiria concluir o protótipo a tempo, Alexandre Chamon pelo auxílio na pilotagem do protótipo, Alexandre Alvarenga e Estigarribia de Moraes pela pilotagem dos helicópteros de apoio. Aos colegas de trabalho sem os quais eu não teria tempo para me dedicar aos estudos. Aos colegas de mestrado pelo companheirismo e espírito colaborativo e, principalmente, à minha família.

## *Resumo*

As comunicações entre equipes de socorro/resgate e o centro de comando (CC) destas operações, em cenários de emergência, ocorrem normalmente com o uso de rádios nas faixas de VHF e UHF. Neste sistema, somente comandos verbais são utilizados para coordenar as equipes e, devido a problemas de alcance dos rádios e congestionamento de canal, perdas de comunicação são comuns. Outras tecnologias vêm sendo estudadas para auxiliar nesta troca de informações - por exemplo, a implantação de redes de comunicação de dados sem fio. Entretanto, dependendo do cenário de emergência, redes tradicionais, como as *ad hoc* e *mesh*, podem falhar ao tentar manter as equipes conectadas ao centro de comando, já que elas pressupõe a existência permanente de um caminho fim-a-fim. Portanto, neste tipo de cenário as redes oportunísticas e tolerantes a atrasos (redes DTN) são mais indicadas, uma vez que possuem mecanismos de roteamento capazes de lidar com desconexões imprevisíveis de seus nós. Este trabalho objetiva estudar o desempenho de alguns algoritmos de roteamento para redes DTN quando utilizada em conjunto com veículos aéreos não tripulados (VANTs), com o intuito de prover conectividade para nós terrestres desconexos por estarem em regiões isoladas, em virtude de limitações impostas por desastres naturais. Foi construído um protótipo de VANT, equipado com um dispositivo de piloto automático e um conjunto de sensores, para que este pudesse realizar voos pré-programados, coletando informações sobre os voos realizados. Os dados de voo foram então tratados e inseridos no simulador de redes oportunísticas THE ONE, para que alguns protocolos de redes DTN pudessem ser avaliados em situações diversas. Dois cenários representativos dos desastres naturais ocorridos na região de Nova Friburgo (01/2011) e no distrito de Xerém (01/2013) foram criados para essas simulações e foram estudados o comportamento dos protocolos *Epidemic*, *Prophet*, *Spray and Wait* e *Maxprop*. Para cada situação, foi possível verificar qual protocolo pode ser mais eficaz conforme o número de VANTs e o número de nós terrestres desconexos, dentre outros parâmetros. A partir destes resultados, é possível obter informações úteis, tais como quantidade mínima de VANTs para uma dada probabilidade de entrega de mensagens. Além disso, os resultados obtidos podem servir de base para se estudar melhorias nestes protocolos, de maneira a otimizá-los para uso nos cenários estudados.

**Palavras-chave:** redes DTN, VANT, cenários de emergência

## *Abstract*

Communications between rescue teams and operations command center ( CC ), in emergency scenarios, typically occur with the use of radios in the VHF and UHF. In this system, only verbal commands are used to coordinate teams and due to problems of the radios range and channel congestion, loss of communication are common. Other technologies are being studied to assist in this information exchange - for example, the deployment of communication networks wireless data. However, depending on the emergency scenario, traditional networks such as *ad hoc* and *mesh*, may fail when trying to keep teams connected to the command center, since they presuppose the existence of a permanent end-to-end path. Therefore, in this type of scenario opportunistic and delay tolerant networks ( DTN ) are more suitable since they have routing mechanisms capable of dealing with unpredictable disconnections of its nodes. This work aims to study the performance of some routing algorithms for DTN networks when used in conjunction with unmanned aerial vehicles ( UAVs ), in order to provide connectivity to unconnected ground nodes located in remote areas, due to limitations imposed by natural disasters. It was built a UAV prototype, equipped with an autopilot and a set of sensors, so that it could carry out pre-programmed flights, collecting information from flights taken. The flight data were then processed and entered into the opportunistic network simulator THE ONE, to evaluate some DTN network protocols in different situations. Two representative scenarios of natural disasters in the region of Nova Friburgo ( 01 / 2011) and the Xerém district ( 01 / 2013 ) were created for these simulations and we studied the behavior of protocols *Epidemic*, *Prophet*, *Spray and Wait* and *Maxprop*. For each situation, it was possible to check which protocol may be more effective taking in consideration the number of UAVs and the number of ground nodes, among other parameters . From these results, it is possible to obtain useful information, such as minimum number of UAVs for a given probability of message delivery. Moreover, the results obtained may serve as the basis for studying improvements in these protocols in order to optimize them for use in the investigated scenarios.

**Keywords:** DTN networks, UAVs, emergency cenarios

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Pilha de protocolos . . . . .	15
Figura 2 – Eixos de rolagem de um avião . . . . .	22
Figura 3 – Transmissor de rádio controle . . . . .	23
Figura 4 – Região central Nova Friburgo . . . . .	30
Figura 5 – Cenário de Xerém . . . . .	32
Figura 6 – Protótipo de VANT . . . . .	32
Figura 7 – VANTs com áreas de voo restritas . . . . .	35
Figura 8 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós - cenário de Friburgo. . . . .	42
Figura 9 – Gráficos de <i>overhead</i> - mensagens para todos os nós - cenário de Friburgo. . . . .	43
Figura 10 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós - cenário de Friburgo. . . . .	44
Figura 11 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Friburgo. . . . .	45
Figura 12 – Gráficos de <i>overhead</i> - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Friburgo. . . . .	46
Figura 13 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Friburgo. . . . .	47
Figura 14 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Friburgo. . . . .	48
Figura 15 – Gráficos de <i>overhead</i> - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Friburgo. . . . .	49
Figura 16 – Gráficos de latência - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Friburgo. . . . .	50
Figura 17 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós - cenário de Xerém. . . . .	54
Figura 18 – Gráficos de <i>overhead</i> - mensagens para todos os nós - cenário de Xerém. . . . .	55
Figura 19 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nos - cenário de Xerém. . . . .	56
Figura 20 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Xerém. . . . .	57
Figura 21 – Gráficos de <i>overhead</i> - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Xerém. . . . .	58
Figura 22 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Xerém. . . . .	59

Figura 23 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Xerém. . . . .	60
Figura 24 – Gráficos de <i>overhead</i> - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Xerém. . . . .	61
Figura 25 – Gráficos de latência - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Xerém. . . . .	62

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela de emergências . . . . .	6
Tabela 2 – Classificação de VANTs quanto ao alcance . . . . .	20
Tabela 3 – Parâmetros Utilizados nas simulações . . . . .	40
Tabela 4 – Tabela comparativa de resultado dos protocolos . . . . .	66

# Sumário

<b>Lista de ilustrações</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>Lista de tabelas</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>Sumário</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Descrição do problema . . . . .	3
1.2 Objetivos do trabalho e contribuições . . . . .	3
1.3 Estrutura do texto . . . . .	4
<b>2 Emergências e desastres naturais</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Classificação de emergência . . . . .	5
2.2 Processo de gestão de emergências . . . . .	7
<b>3 Abordagens de redes sem fio que podem ser aplicadas em cenários de emergência</b> . . . . .	<b>9</b>
3.1 O padrão IEEE 802.11 . . . . .	9
3.2 Redes Ad Hoc . . . . .	10
3.3 Redes mesh . . . . .	13
3.4 Redes DTN . . . . .	14
<b>4 VANTs</b> . . . . .	<b>18</b>
4.1 Classificação de VANTs . . . . .	19
4.1.1 Aplicações de VANTs . . . . .	21
4.1.2 Sistema de controle de VANTs . . . . .	22
4.2 VANTS em cenários de emergência . . . . .	25
<b>5 Trabalhos relacionados</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>6 Avaliação experimental</b> . . . . .	<b>29</b>
6.1 Cenários de emergência investigados . . . . .	29
6.1.1 Descrição do cenário representativo do desastre natural na cidade de Nova Friburgo . . . . .	30
6.1.2 Descrição do cenário representativo do desastre natural no distrito de Xerém . . . . .	31
6.2 Descrição do protótipo de VANT desenvolvido para a coleta de dados de movimento . . . . .	31

6.2.1	Configuração da trajetória dos VANTs . . . . .	34
6.2.2	Configuração do ambiente de simulação e dos parâmetros utilizados . . . . .	36
<b>7</b>	<b>Resultados . . . . .</b>	<b>40</b>
7.1	Cenário de Nova Friburgo . . . . .	40
7.1.1	Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó . . . . .	41
7.1.2	Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó exceto o centro de comando . . . . .	48
7.1.3	Mensagens geradas de qualquer nó com destino somente ao centro de comando e deste para qualquer outro nó . . . . .	51
7.2	Cenário Xerém . . . . .	53
7.2.1	Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó . . . . .	53
7.2.2	Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó exceto o centro de comando . . . . .	53
7.2.3	Mensagens geradas de qualquer nó com destino somente ao centro de comando e deste para qualquer outro nó . . . . .	63
7.3	Análise geral . . . . .	63
<b>8</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>65</b>
8.1	Trabalhos futuros . . . . .	67
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>69</b>

# 1 Introdução

Em situações de emergência, como por exemplo, na ocorrência de desastres naturais, o rápido atendimento às vítimas é um fator crucial de socorro, já que uma maior demora pode levar uma vítima com ferimentos mais graves ao óbito. Mesmo pessoas que não estejam com suas vidas diretamente em risco podem ter esta situação deteriorada em curto espaço de tempo, por exemplo, devido à escassez de alimentos e água potável. Dependendo da gravidade e proporções da emergência, boa parte ou toda a infraestrutura de um município ou cidade pode ficar comprometida causando um colapso total. Sem um gerenciamento eficaz da situação como um todo, as entidades envolvidas no amparo e auxílio às vítimas podem não conseguir alocar os recursos de maneira otimizada, ou até mesmo desconhecer o aparecimento de novas áreas de risco com um nível de criticidade maior. Portanto, um sistema de gerenciamento de emergência desempenha um papel fundamental no auxílio não só à recomposição da infraestrutura básica de apoio aos sobreviventes, mas também aos órgãos que coordenam as operações e suas equipes envolvidas no processo, tais como defesa civil, corpo de bombeiros e polícia, dando-lhes um panorama situacional bastante amplo.

Algumas formas de obter informações na ocorrência de um desastre são as fornecidas pelas próprias vítimas, as provenientes de serviços de radioamador e até mesmo as fornecidas pelas equipes de apoio que já se encontrem no local. Entretanto, existem ainda as situações nas quais as equipes não conseguem chegar a determinados locais e, por conseguinte, pessoas que estejam nessas localidades podem estar ilhadas e incomunicáveis. Sem que esse sistema de gerenciamento de emergência possa ser alimentado com informações confiáveis ou, mesmo que confiáveis, se essas informações não chegarem de forma rápida e dinâmica, o sistema pode apresentar um panorama que não corresponda ao cenário real, colocando mais vidas em risco.

Uma forma de auxiliar a coleta dessas informações pode ser obtida utilizando-se as infraestruturas de redes tradicionais, como telefonia celular, telefonia fixa ou redes de computadores, com e sem fio. Entretanto, uma vez que em muitos casos a infraestrutura do local fica comprometida, as redes de comunicação preestabelecidas geralmente não conseguem ser utilizadas. Sendo assim, uma nova estrutura de rede de comunicação pode ser elaborada com intuito exclusivo de auxiliar nestes cenários. Todavia, devido às características de destruição que surgem nestes cenários de emergência, agravadas ainda por condições geográficas e de relevo, as redes convencionais infraestruturadas por cabo (seja metálico ou óptico) podem não ser as opções mais adequadas nestas situações. Uma rede de computadores sem fio, portanto, surge como opção para ser utilizada neste contexto.

As redes sem fios *ad hoc* e *mesh* possuem a característica de não necessitar de uma infraestrutura para o seu funcionamento e podem ser implementadas praticamente em qualquer região com muita rapidez. Porém, devido às dinâmicas encontradas numa região de desastre, os nós podem ficar sem conexão uns com os outros durante intervalos aleatórios. Quando isso ocorre,

os protocolos de roteamento utilizados nas redes *ad hoc* e *mesh* falham em estabelecer um caminho para o envio das mensagens até seu destinatário, uma vez que não tratam o problema de longas desconexões entre os nós da rede.

Já as redes oportunísticas tolerantes a atrasos e desconexões, DTN [(SIVAKUMAR; TAN, 2009), (SIVAKUMAR; TAN, 2010), (FREITAS et al., 2010)], utilizam uma abordagem denominada armazena-transporta-encaminha, que permite contornar o problema da falta de conectividade fim-a-fim. Ao utilizar esta abordagem, um nó que receba uma mensagem endereçada a outro nó manterá esta mensagem armazenada em caso de desconexão, transportando-a para outro nó após reconectado, seja ele destinatário da mensagem ou não. Caso o tempo de vida da mensagem expire, ela é descartada. O nó de destino, mesmo tendo estado desconectado da rede, poderá receber a mensagem tão logo consiga estabelecer uma conexão com um nó que esteja transportando a mensagem. As redes oportunísticas, portanto, por não necessitarem de uma infraestrutura para seu funcionamento e por serem capazes de operar em cenários onde as desconexões dos nós ocorrem de forma frequente, apresentam-se como candidatas a uma solução de comunicação que consiga ser rapidamente instalada em cenários de desastres naturais.

Dentre as necessidades de comunicação que surgem nestas situações, é comum ser preciso estabelecer enlaces de comunicação que transponham estradas ou pontes destruídas. Tal tarefa não costuma ser trivial, principalmente quando precisa ser realizada rapidamente. Além disso, em algumas situações isto somente pode ser feito por via aérea.

Em um cenário de emergência, podemos ter, em um dado momento, diversas equipes realizando operações de busca, reconhecimento de área ou transportando pessoas e suprimentos. Nestas situações é imprescindível que essas equipes mantenham contato entre si e a central de comando das operações. No entanto, dependendo de alguns fatores inerentes à região do desastre, tais como extensão da área atingida, topografia ou vegetação, pode acontecer de os grupos virem a ficar isolados e sem condições de trocar informações entre si. Ademais, essas equipes podem obter informações valiosas a partir de imagens aéreas e informações de sensores instalados em pontos estratégicos.

O uso de helicópteros e aviões não é raro nessas ocasiões, porém existe uma logística bastante complexa para colocar essas aeronaves no ar, envolvendo questões de tripulação e abastecimento, dentre outras. Além desses fatores, muitas vezes essas aeronaves estão ocupadas demais em missões de resgate para poderem ser empregadas em missões de busca de informações.

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), que nada mais são do que aeronaves controladas à distância, podem ser utilizados para realizar missões de coleta de informações. Os VANTs têm as vantagens de poderem ser programados para realizar missões de forma automática, não exigirem tripulação e serem rapidamente reabastecidos, dentre tantas outras vantagens. Além disso, ao serem equipados com dispositivos de redes sem fio, os VANTs podem atuar como nós móveis de redes oportunísticas. Deste modo, essas aeronaves podem atuar como agentes de conexão entre os nós de uma rede desconexa, servindo de base para uma estrutura de rede que

dê apoio às equipes de resgate e de busca de informação em cenários de emergência.

Os VANTs podem não apenas ser utilizados para o estabelecimento de uma rede DTN, mas também podem auxiliar no sensoriamento das áreas de desastre, capturando também fotos, além das mensagens de socorro em texto para envio às equipes de apoio. Estas mensagens podem ser propagadas entre os VANTs e outros nós terrestres até que atinjam o centro de controle ou alguma equipe em terra (SIVAKUMAR; TAN, 2009).

## 1.1 Descrição do problema

Mediante o que foi exposto na seção anterior, a solução que se apresenta como melhor opção para o rápido estabelecimento de uma rede de comunicação em cenários de desastre é a de uma DTN dotada de VANTs que atuam como nós móveis para transporte de mensagens entre os elementos desconexos, ou seja, os nós terrestres que se encontram ilhados. Esta rede DTN deverá, portanto, utilizar um dos algoritmos de roteamento projetados para este tipo de rede. Entretanto, até o limite de nosso conhecimento, não há um estudo formal que mostre como estes algoritmos de roteamento se comportam no cenário descrito. Por exemplo, dependendo das características do cenário de emergência, pode ser que determinados protocolos de roteamento em redes DTN tenham um desempenho mais favorável do que um outro, ou ainda que não sejam adequados.

## 1.2 Objetivos do trabalho e contribuições

Conforme dito, este trabalho baseia-se na hipótese de se utilizar VANTs nas áreas de desastre e de acesso difícil para o estabelecimento de uma rede DTN que sirva de comunicação entre o centro de controle e as equipes terrestres de apoio, ou ainda com as próprias vítimas, caso possuam os equipamentos necessários. Entretanto, uma vez que não se conhece o comportamento dos protocolos de roteamento em redes DTN quando utilizados da forma descrita, o objetivo geral deste trabalho é o de analisar o comportamento e o desempenho de uma seleção de protocolos de roteamento destinados a redes DTN quando aplicados aos cenários descritos.

Neste trabalho, os protocolos de roteamento em redes DTN avaliados foram o *Epidemic*, o *Prophet*, o *Maxprop* e o *Spray and Wait*. O desempenho destes protocolos foi avaliado com base em dois cenários de emergência reais e distintos. Estes cenários contemplam os casos de inundação e deslizamentos decorrentes de fortes chuvas que ocorreram no município de Nova Friburgo, em janeiro de 2011, e no distrito de Xerém, em janeiro de 2013, ambos localizados no Estado do Rio de Janeiro. Foram realizados voos com um VANT experimental para a coleta de traços de mobilidade e os dados obtidos foram inseridos em um simulador de redes oportunísticas, o THE ONE (KERANEN, 2008). No simulador, foi possível avaliar o desempenho das redes DTN, usando VANTs como nós móveis, que poderiam ser formadas em cada cenário.

Com a simulação destes cenários, foram avaliados os seguintes quesitos, para cada cenário e para cada protocolo:

- O desempenho da rede DTN utilizando VANTs, variando-se o número de VANTs de zero a seis;
- A influência do padrão de mobilidade do VANT nos resultados;
- A influência do número de nós terrestres nos resultados;
- O desempenho da rede para três diferentes formas de comunicação: (i) mensagens entre nós terrestres e entre nós terrestres e centro de controle; (ii) mensagens entre nós terrestres apenas; e (iii) mensagens entre nós terrestres e centro de controle apenas.

Além disso, com a experimentação prática para a obtenção dos traços de mobilidade, foi também possível obter as seguintes informações:

- Limitações de alcance dos sistemas de telemetria;
- Influência do ambiente na qualidade dos dados coletados;
- Influência do tipo de VANT no experimento.

### 1.3 Estrutura do texto

Dando prosseguimento a este documento: no Capítulo 2 são apresentadas as definições de emergências e desastres naturais, sua classificação quanto a gravidade e as etapas de planejamento do "antes, durante e depois", de acordo com as diretrizes de organismos nacionais e internacionais de atendimento a situações de emergência; no Capítulo 3 são apresentadas as abordagens de redes sem fio que podem ser empregadas pelas equipes de resposta a emergência em cenários correlatos, sendo que algumas estão ainda em estágio de pesquisa, porém outras já estão bastante consolidadas e largamente empregadas; no Capítulo 4 são discutidos os principais tipos de VANTs, vantagens e desvantagens dos modelos bem como os sistemas de controle e orientação; no Capítulo 5 são apresentados os trabalhos relacionados; no Capítulo 6 é feita a caracterização do cenário investigado, as informações coletadas em campo são discutidas e contextualizadas também; no Capítulo 7 os resultados das análises e simulações são apresentados; por fim, o Capítulo 8 traz a conclusão e trabalhos futuros.

## 2 Emergências e desastres naturais

Desastre natural é o termo normalmente empregado pelos organismos de defesa e auxílio para definir as situações de emergência nas quais fenômenos naturais tais como terremotos, furacões, chuvas dentre outros, atingem áreas ou regiões habitadas pelo ser humano, causando danos pessoais ou materiais.

No Brasil, a maioria dos desastres naturais são originados por condições atmosféricas adversas. Porém, a ação humana também contribui significativamente na intensidade e frequência desses desastres, como por exemplo, com desmatamentos, grandes queimadas e até mesmo a urbanização de grandes áreas de terra (REIS; MADRUGA; SAUSEN, 2011).

### 2.1 Classificação de emergência

Diversos termos podem ser empregados em situações de emergência dependendo da organização que se ocupa desta e também de acordo com sua abrangência (Tabela 1) (ARAUJO, 2009).

Com base nessas informações, pode-se definir alguns parâmetros para o dimensionamento da emergência e sua consequente classificação:

- \* Quantidade de vítimas;
- \* Quantidade de desabrigados;
- \* Tamanho da área atingida;
- \* Perdas materiais e financeiras.

De acordo com (REIS; MADRUGA; SAUSEN, 2011), as emergências podem ser classificadas como sendo de baixa, média ou de alta intensidade:

- **Baixa intensidade:** Causa alguns danos e prejuízos os quais podem ser recuperados pelas comunidades afetadas. A defesa civil classifica como desastres de níveis I e II, diferenciando-se um do outro pela facilidade da comunidade voltar à normalidade após o fato;
- **Média intensidade:** Causa danos e prejuízos mais graves sendo necessária a decretação de situação de emergência. A defesa civil classifica como desastres de nível III;
- **Alta intensidade:** Os danos e prejuízos causados são muito mais graves, ultrapassando a capacidade de recuperação da região afetada por meios próprios, fazendo com que seja decretado estado de calamidade pública. A defesa civil classifica como desastres de nível IV.

Tabela 1 – Tabela com definições de tipos de emergências.

Acidente	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Um ou mais órgãos de função específica como bombeiros, Polícia, serviços Médicos são acionados.</li> <li>● Não ocorre nenhuma ascendência de comando de uma organização sobre as demais envolvidas, não há necessidade de coordenação externa com o objetivo de gerenciar a ocorrência do acidente.</li> </ul>
Desastre	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Geralmente afeta grandes áreas causando dificuldade de acesso às áreas impactadas, pode ocorrer o colapso de vias de acesso importantes, principalmente as de comunicações.</li> <li>● A velocidade do impacto associada aos problemas em redor e aos problemas de comunicação geram dificuldade de conhecimento do cenário global. A situação excede a capacidade de resposta e exige coordenação externa para o seu gerenciamento.</li> <li>● A resposta inicial não é dada pelos órgãos governamentais de socorro e sim pelos sobreviventes do desastre.</li> <li>● Não se caracterizam por grandes acidentes, mas por diferentes tipos de eventos associados.</li> </ul>
Catástrofe	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Não afeta tão somente a comunidade local, mas gera o caos afetando todos os órgãos de resposta, destruindo toda a sua estrutura física e lógica de intervenção.</li> </ul>

Pode-se tipificar ainda as emergências de acordo com sua ocorrência e causa podendo ser súbitas ou cíclicas. As ocorrências súbitas são aquelas que se manifestam de forma inesperada, não havendo portanto, tempo suficiente para o preparo contra o impacto de seus efeitos, enquanto que as ocorrências cíclicas são aquelas que se manifestam com periodicidade e/ou sazonalidade, desta forma, havendo tempo para que atitudes preventivas sejam tomadas.

Quanto às causas as emergências podem ser classificadas como naturais ou humanas, sendo que as humanas podem ainda ser subdivididas em tecnológicas, sociais e biológicas.

As emergências causadas por desastres naturais caracterizam-se por fazer parte de um ciclo que se associa à evolução do planeta terra ao longo do tempo, manifestando-se sob a forma de erupções vulcânicas, terremotos, maremotos, ciclones, enchentes, secas, etc.

Já as emergências humanas são provocadas pela própria evolução humana devido ao abuso e mal uso de seu conhecimento, subdividindo-se em:

**Tecnológicas** são aquelas geradas pelo desrespeito às normas e princípios que envolvem

o uso da tecnologia em equilíbrio com o meio ambiente, traduzindo-se sob a forma de incêndios, explosões, desabamentos, vazamentos químicos, etc. As **sociais** são originadas pela incapacidade do ser humano conviver em harmonia com seus semelhantes dentro dos princípios de liberdade, igualdade e fraternidade. Traduzem-se em greves, guerras, violência, fome, sabotagem, etc. As **biológicas** resultam do desequilíbrio entre o ser humano e a natureza traduzindo-se em pragas animais e vegetais, epidemias e pandemias.

## 2.2 Processo de gestão de emergências

A gestão de emergências baseia-se em uma sequência cíclica de etapas que se relacionam entre si e são agrupadas de forma básica em antes, durante e depois.

De acordo com a ESRI (*Environmental Systems Research Institute inc.*), uma empresa americana especializada na produção de soluções para a área de informações geográficas, essas etapas se subdividem em outras cinco: planejamento; mitigação; preparação; resposta e recuperação (SIVAKUMAR; TAN, 2010).

A secretaria de defesa civil brasileira acrescenta mais duas etapas: a de alerta, a qual é inserida antes da etapa de resposta; e de reabilitação, a qual compreende a restauração dos serviços, esta etapa é acionada antes da fase de recuperação.

**Antes da Emergência** - É a fase antes do desastre que engloba as atividades de prevenção, mitigação, preparo e alerta. O objetivo aqui é prevenir para evitar que ocorram danos maiores no impacto do desastre; mitigar para diminuir o impacto do desastre; preparar para organizar e planejar as ações de resposta e alertar para notificar formalmente a presença iminente de um perigo.

- Etapa de planejamento ou prevenção onde se realizam as atividades necessárias para documentar e analisar a probabilidade de que um desastre ocorra e suas prováveis consequências com relação a perda de vidas, danos a propriedade e ao ambiente;
- Etapa de mitigação a qual visa reduzir ou eliminar efetivamente a probabilidade de um desastre ocorrer. Esta fase também inclui ações que tendem a ser continuamente aplicadas ao longo do tempo para reduzir os efeitos de desastres que não podem ser evitados, como por exemplo criar canais de escoamento ou reservatórios subterrâneos para o escoamento da água das chuvas;
- Etapa de preparação que envolve as organizações, os governos e as pessoas para que sejam desenvolvidos planos e estratégias para salvar vidas e minimizar os estragos causados pelo desastre. A cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, criou o sistema de alerta por sirenes em áreas de risco de deslizamento com o objetivo de evacuar a população próxima a essas áreas;

- Etapa de alerta que é uma situação anterior a ocorrência de um desastre e existe com a finalidade de tomar precauções específicas dada a provável ocorrência de um evento de desastre.

**Durante a emergência** - Nesta fase se executam as atividades de resposta durante o período de emergência ou imediatamente depois de ocorrido o evento. Estas atividades incluem a evacuação da área afetada, assistência, abrigo, busca e resgate. Também se iniciam ações com a finalidade de restaurar os serviços básicos e necessários à população e de reparar determinada infraestrutura vital à área afetada.

De acordo com (ARAUJO, 2009) as atividades de resposta englobam:

- busca e resgate de pessoas afetadas;
- assistência médica para a população afetada;
- evacuação da população afetada em zonas de perigo;
- alojamento temporário, distribuição de alimento e abrigo para a população mais afetada;
- segurança e proteção de bens e pessoas;
- avaliação preliminar de danos;
- apoio logístico;
- sistemas de comunicação.

**Depois da emergência** - Divide-se em reabilitação e reconstrução. O objetivo das atividades de reabilitação, como o nome sugere, é restabelecer os serviços vitais indispensáveis e o sistema de abastecimento da área afetada enquanto as atividades de recuperação visam reparar a infraestrutura afetada e restaurar o sistema produtivo a um estado similar ao que se encontrava antes que a catástrofe ocorresse.

Em cenários de desastre, diversos órgãos e instituições podem participar das atividades de resposta e reabilitação. No processo de gestão de emergências, é necessário portanto o estabelecimento de um Centro de controle e operação. De acordo com o manual de gerenciamento de desastres, nestas situações o centro de controle e operação tem a função de comandar, controlar e coordenar as operações de resposta (JUNIOR; ARAUJO; LUIZ, 2010). Ou seja, o centro de controle e operação, também chamado de Centro de Comando (CC), tem a responsabilidade de coordenar a operação como um todo, desenvolvendo um plano de ação e definindo objetivos e prioridades.

Desta forma, todas as informações que forem coletadas devem ser concentradas no centro de comando para que este possa analisá-las, segundo seus critérios, e então decidir sobre as estratégias de ação e sobre como alocar os recursos disponíveis.

# 3 Abordagens de redes sem fio que podem ser aplicadas em cenários de emergência

As equipes de emergência, quando em atuação em locais de desastres, têm como equipamento primário de comunicação rádios que operam na faixa de VHF/UHF. Embora sejam equipamentos de fácil manuseio e operação, são utilizados para enviar e receber somente comandos verbais o que em um ambiente caótico como o cenário de um desastre pode induzir a erros de interpretação ou ainda uma saturação do canal de comunicação com várias equipes tentando falar ao mesmo tempo (DILMAGHANI; MANOJ; RAO, 2006; MANOJ; BAKER, 2007).

Com o intuito de integrar as equipes das diversas instituições envolvidas nas operações de resgate, como por exemplo, bombeiros, policiais e defesa civil (SANTOS; OCHOA, 2011), outras abordagens de comunicação sem fio vem sendo estudadas para serem utilizadas pelas equipes. Neste capítulo, serão tratados alguns tipos de redes sem fio que tem sido estudadas em cenários de emergência para possibilitar a troca de informações, dados e imagens que irão auxiliar na tomada de decisão por parte dos gestores de emergência.

## 3.1 O padrão IEEE 802.11

As redes locais sem fio (*wireless local area network* - WLAN) estão presentes na maioria dos computadores portáteis, em câmeras de segurança sem fio, tablets dentre outros.

Essas redes são caracterizadas por terem os equipamentos que as utilizam conectados a ela através de ondas de rádio. Isto, porém, não significa que alguns equipamentos não necessitem estar ligados por intermédio de cabos para que possam compartilhar informações. Como exemplo podemos citar os pontos de acesso sem fio os quais são equipamentos que uma vez conectados a uma rede cabeada permitem que dispositivos equipados com placas de rede sem fio possam usufruir dos recursos da rede cabeada à qual o ponto de acesso esteja conectado.

O padrão IEEE 802.11 é o utilizado pela tecnologia WiFi e é o responsável pelas especificações das redes locais sem fio e descreve as características dos protocolos envolvidos, incluindo desde a parte física até os mecanismos de segurança do padrão. Assim, descreveremos brevemente a seguir os principais subpadrões relativos as camadas física e enlace que são: IEEE 802.11a, b, g e n.

**IEEE 802.11b** – Padrão que utiliza a técnica de modulação *Direct Sequence Spread Spectrum* DSSS e opera na faixa de frequência de 2,4GHz, também conhecida por *ISM Industrial, Scientific, Medical*, e pode atingir taxas de transmissão de até 11Mbps podendo diminuir essa velocidade para 5,5; 2 e 1 Mbps em caso de dificuldades de conexão nas velocidades mais alta.

A faixa ISM tem a grande vantagem de não necessitar de licença para sua utilização barateando assim o uso de equipamentos que utilizem esta faixa. Em contrapartida, essa vantagem torna-se também uma desvantagem pois, por não exigir licenciamento prévio para sua utilização, diversos aparelhos utilizam essa faixa contribuindo para o aumento de ruído e poluição desta parte do espectro eletromagnético.

**IEEE 802.11g** – Lançado em 2003, este padrão tornou-se rapidamente o substituto do padrão IEEE 802.11b por permitir a interoperabilidade com equipamentos antigos possibilitando uma migração gradativa para o novo padrão e com taxas de transmissão de até 54Mbps, quase 5 vezes mais que o padrão anterior.

O padrão IEEE 802.11g utiliza a técnica de modulação *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* OFDM operando taxas de transferência de até 54Mbps podendo diminuir essa velocidade para 48, 36, 24, 18, 12, 9 e 6 Mbps, caso seja necessário, e para compatibilidade com dispositivos do padrão IEEE 802.11b, trabalha também com a técnica de modulação DSSS passando a atuar nesse modo como um dispositivo IEEE 802.11b com taxa de transmissão máxima de 11Mbps.

**IEEE 802.11a** – Este padrão, lançado em 1999, utiliza a técnica de modulação OFDM como mecanismo de transmissão na camada física e opera na faixa de 5GHz. Como principal vantagem desse padrão pode-se citar a menor probabilidade de interferência, uma vez que a faixa de frequência de 5GHz é bem menos congestionada do que a faixa de 2,4GHz. Uma característica marcante deste padrão baseia-se justamente no fato de não haver interoperabilidade com equipamentos dos padrões 802.11b e 802.11g devido ao fato destes utilizarem a faixa de frequência de 2,4GHz e também à técnica de modulação OFDM utilizada no padrão 802.11a.

**IEEE 802.11n** – Padrão finalizado em outubro de 2009 que permite taxas de transmissão de até 600Mbps com a utilização de MIMO e canais com largura de 40MHz. MIMO é uma tecnologia que usa múltiplas antenas para enviar mais informação do que seria possível utilizando apenas uma antena e utiliza a técnica de multiplexação por divisão espacial.

Esta técnica aproveita-se das características de reflexão dos sinais de RF os quais, saindo de antenas diferentes, percorrem caminhos diferentes do transmissor até o receptor ao refletirem em diversos obstáculos o que faz com que nunca cheguem ao mesmo tempo no destino.

## 3.2 Redes Ad Hoc

As redes *ad hoc* são um tipo de rede onde não existe uma infraestrutura, desta forma, os nós comunicam-se diretamente entre si. Uma vez que não existe um elemento central controlando o acesso ao meio, os nós precisam estar ao alcance um do outro para que possam se comunicar, ou ainda, que exista um nó intermediário que possa encaminhar a mensagem entre um nó e outro.

Sendo assim, as mensagens trafegam de nó em nó até que chegue ao nó de destino, porém devido à natureza dinâmica com que o nós se apresentam nessa rede e, portanto, imprimindo

mudanças súbitas e rápidas na topologia desse tipo de rede, existem problemas de roteamento o que dificulta a entrega de mensagens em alguns casos.

Por exemplo, se o nó de destino sair do alcance do nó intermediário e não existir nenhum outro nó intermediário que possa encaminhar a mensagem, esta mensagem provavelmente será perdida e jamais será entregue a seu destinatário (SANTOS; MOTA; NETO, 2008). Portanto, os protocolos de roteamento poderão ter dificuldades para entregar mensagens na rede devido à mobilidade dos nós que causam mudanças na topologia da rede. Além disso a conexão sem fio entre os nós, mesmo que estejam ao alcance um do outro, também pode causar problemas ao roteamento de mensagens, pois, embora a mensagem possa ser recebida diretamente de um nó, não existem garantias de que este nó irá receber sem maiores problemas uma mensagem a ele enviada caso existam obstáculos ou interferências no caminho.

Um outro problema diz respeito a rotas ou caminhos alternativos. Em uma rede cabeada essas rotas contam com alguma previsibilidade, pois em geral, ao serem estabelecidas, passam a fazer parte da rede como um todo e raramente são alteradas. Nas redes *ad hoc* a alteração dessas rotas alternativas ocorre de forma mais abrupta devido principalmente à mobilidade dos nós e de suas limitações de energia. Redes *ad hoc* com suporte a mobilidade são denominadas redes móveis *ad hoc* (*Mobile Ad hoc Networks - MANETs*).

Devido a esses desafios, protocolos de roteamento com características específicas, como por exemplo a capacidade de lidar rapidamente com uma mudança na topologia da rede, são necessários para que as MANETs operem de forma satisfatória.

Alguns dos principais protocolos de roteamento para MANETs são o *Ad Hoc On-Demand Distance Vector -AODV*, *Dynamic Source Routing -DSR* e o *Optimized Link State Routing -OLSR*. O AODV e o DSR são reativos, ou seja, as rotas são obtidas somente quando são necessárias para a entrega de uma mensagem e, uma vez estabelecida, um mecanismo de manutenção de rota a mantém ativa. Enquanto o protocolo OLSR é do tipo pró-ativo pois tenta avaliar constantemente as rotas (SANTOS; MOTA; NETO, 2008). Abaixo, uma descrição desses protocolos:

- Protocolo AODV - Quando um nó precisa enviar uma mensagem para um outro nó o qual ele não possui uma rota válida, inicia-se um processo de descoberta de rota enviando para os nós próximos um pedido de requisição de rota (*route request* ou RREQ). Os nós que recebem o RREQ executam o mesmo procedimento até que se chegue ao nó de destino ou a um nó que possua uma rota recente para o nó de destino.
- Protocolo DSR - O funcionamento do protocolo DSR se assemelha ao do protocolo AODV. No entanto o DSR armazena a rota completa (salto a salto) para um determinado nó de destino. Isto faz com que o DSR consuma mais memória do que o AODV que armazena apenas o próximo salto.
- Protocolo OLSR - Este protocolo troca constantemente informações com os nós vizinhos com o objetivo de manter a tabela de rotas atualizada. O OLSR utiliza uma técnica

denominada *MultiPoint Relay-MPR* para minimizar o número de pacotes redundantes na rede e assim diminuir o *overhead*.

Como pode ser visto, a ausência de infraestrutura traz alguns problemas para as MANETs as quais, inclusive, necessitam de protocolos de roteamento mais adequados ao seu modo de funcionamento. Da mesma forma, ao permitir uma maior mobilidade dos nós, as MANETs apresentam uma série de vantagens difíceis de serem conseguidas por redes que necessitam de toda uma infraestrutura para operar.

Podemos então elencar algumas das vantagens das MANETs como sendo sua capacidade de auto-organização, sua robustez e a possibilidade de trabalharem com uma topologia bastante dinâmica.

1. **Organização autônoma:** Uma vez que essas redes não precisam de uma infraestrutura para funcionar, elas podem ser implementadas de forma bastante rápida. Para que isso seja possível, a rede deve ser capaz de adotar certas configurações tais como endereçamento dos nós, roteamento e controle de energia de forma automática;
2. **Robustez:** Cada nó da rede age como receptor, emissor ou intermediário de uma mensagem. Desta forma, em um cenário de desastre onde a infraestrutura convencional possa ter sido comprometida, a rede continuaria operando enquanto existirem nós aptos a desempenhar suas funções na rede;
3. **Topologia dinâmica:** Uma vez que os nós desse tipo de rede são móveis, a topologia da rede pode ser alterada de forma bastante dinâmica inclusive com nós entrando e saindo da rede a qualquer momento.

Como desvantagens das MANETs podemos citar o consumo de energia dos nós, problemas de roteamento e de segurança.

1. **Consumo de energia:** Em sua maioria os nós de uma MANETs são nós móveis e, portanto, fazem uso de alguma fonte de energia limitada como baterias. Um dos problemas é justamente gerir de forma adequada o consumo de energia;
2. **Problemas de roteamento:** Os protocolos de roteamento de MANETs assumem que a rede possui conectividade fim-a-fim. Porém, devido aos padrões de mobilidade dos nós, pode ocorrer o particionamento da rede. Isto significa que parte da rede pode ficar desconectada por períodos de tempo indeterminados o que pode causar problemas para o roteamento de mensagens até o destinatário;
3. **Segurança:** As MANETs sofrem dos mesmos problemas de segurança das redes sem fio em geral, pois como as mensagens trafegam sem qualquer confinamento, diferentemente das redes cabeadas, qualquer nó que esteja ao alcance pode interceptar as mensagens transmitidas.

Em determinados cenários de emergência, como por exemplo, uma ocorrência de desastre natural com deslizamentos de terra em regiões montanhosas, a implantação de uma infraestrutura de rede para comunicações pode ser demasiado demorada dada a urgência da necessidade de informações. Ainda que equipes avançadas de apoio e resgate consigam estabelecer pontos de infraestrutura em locais estratégicos, devido à própria dinâmica do cenário, novos deslizamentos podem ocorrer obrigando a rápida remoção dessas estruturas ou mesmo, em casos mais graves, destruindo-as.

De acordo com as características aqui apresentadas, é correto supor que as MANETs podem ser uma boa opção de escolha como tipo de arquitetura de rede sem fio para utilização em cenários de emergência, pois podem ser rapidamente disponibilizadas e como os nós que a compõem possuem grande mobilidade, elas podem acompanhar as constantes mudanças que ocorrem em cenários de desastre.

Porém, em um cenário de catástrofe ou até mesmo de desastre, os nós podem entrar e sair da rede muito rapidamente podendo chegar a ficar horas fora de alcance e, portanto, devido a problemas de roteamento e entrega de mensagens, nunca receberem as mensagens a eles endereçada.

Em um cenário de emergência onde as informações podem representar a diferença entre a vida e a morte de uma ou várias pessoas, não é interessante que essas informações sejam perdidas, mesmo que necessitem de um tempo maior para serem entregues. Sendo assim, pode ser que as MANETs por si só não sejam uma boa escolha para determinadas situações.

### 3.3 Redes mesh

Uma das principais diferenças desse tipo de rede para a MANET é que em sua estrutura encontramos roteadores sem fio os quais, ao comunicarem-se uns com os outros, formam um *backbone* sem fio para prover conectividade aos nós clientes com ou sem fio. Ou seja, diferentemente das MANETs onde os próprios nós se encarregam do roteamento das mensagens, nas redes *mesh* os roteadores é que desempenham esse papel.

Uma vez que não existe mobilidade constante dos roteadores desse tipo de rede, eles podem contar com melhores recursos de fornecimento de energia. Desta forma o *backbone* da rede assim estabelecida pode manter-se fornecendo conectividade aos nós clientes de forma constante (ABELEM et al., 2007).

Suas características permitem que *backbones* sem fio sejam criados muito rapidamente para prover conectividade, como sugere o projeto reMESH (SAADE et al., 2007), onde roteadores sem fio, operando no modo *ad-hoc*, são instalados no topo de prédios formando uma malha sem fio para conexão à internet.

Os protocolos de roteamento utilizados na rede *mesh* são basicamente os mesmos utilizados na MANET, sendo que os do tipo pró-ativo são os mais utilizados em redes pequenas, pois, a

quantidade de memória necessária para manter as tabelas de roteamento é baixa, enquanto que, em redes maiores, os protocolos do tipo reativo são os mais utilizados (DAMLE, 2006).

O padrão IEEE802.11s é o especificado para conectar dispositivos sem fio no modo *mesh*.

Devido às suas características de funcionamento semelhantes às MANETs, a redes *mesh* também encontram algumas restrições de implementação em determinados cenários de emergência com o agravante de, caso um roteador esteja posicionado de forma a ter sua mobilidade restringida, utilizando geradores de energia ou pesadas baterias. Pois, este equipamento pode vir a ser inutilizado devido à dificuldade de reposicioná-lo caso a situação da região na qual se encontra mude. Por exemplo, uma represa que se rompa pode inundar rapidamente áreas que até então eram consideradas seguras em uma situação de desastre com enchentes.

### 3.4 Redes DTN

O fato de não haver necessidade do uso de uma infraestrutura para que uma rede de computadores possa ser criada é um grande facilitador para a disseminação das redes sem fio que dispensam o uso de equipamentos infraestruturados.

Principalmente em locais onde a implantação dessa infraestrutura cabeada é muito custosa ou proibitiva, essas redes podem ser a única forma de prover alguma conectividade.

A partir do momento que a rede como um todo não se utiliza de qualquer infraestrutura, todos os nós na rede passam a depender mutuamente uns dos outros para que as mensagens possam fluir de sua origem até o seu destinatário final.

Esses nós, uma vez que não necessitam de uma infraestrutura de apoio, podem ganhar mobilidade e, portanto, com essa mobilidade, podem não estar sempre no mesmo espaço físico.

Além disso, com a ausência de infraestrutura, os nós precisam de alguma fonte de energia que seja portátil. Essas fontes de energia, via de regra, são baterias as quais conseguem manter os nós funcionando por um limitado período de tempo até que possam ser recarregadas.

Desta forma, em um dado momento, uma mensagem pode ser encaminhada para um nó que não pode ser alcançado por qualquer outro nó na rede, pois, esse nó pode ter saído do alcance dos outros nós ou simplesmente ter sido desativado por falta de energia.

Outra situação que pode ocorrer é que um nó **A**, que por qualquer motivo não pode mais ser alcançado pelos outros nós da rede, é o único capaz de alcançar um nó **B**. Assim, nó **B** estará desconectado do restante da rede até que o nó **A** volte a um estado que possa novamente servir de ponte para o restante da rede ou que o nó **B** consiga comunicar-se com o restante da rede de outra forma, por exemplo movendo-se de forma a estar ao alcance dos outros nós. Nestes dois casos o que ocorre é que deixa de existir um caminho fim-a-fim entre origem e destino de uma determinada mensagem.

Quando ocorre essa falta de conectividade fim-a-fim entre a origem e o destino de uma determinada mensagem, significa que a rede encontra-se particionada ou dividida em regiões que não se comunicam diretamente.

A mobilidade e a intermitência da conectividade entre nós, acabam gerando a divisão da rede em regiões. Isto torna praticamente impossível prever quando haverá conectividade entre regiões. As redes convencionais não possuem mecanismos que consigam tratar esse problema. No entanto contatos oportunisticos podem ocorrer entre nós de regiões diferentes permitindo o encaminhamento de mensagens entre uma região e outra.

As redes oportunísticas ou redes tolerantes a atraso (*Delay Tolerant Network* - DTN) as quais funcionam de forma análoga às redes *ad hoc*, não necessitam que exista um caminho ou rota fim-a-fim para a entrega de mensagens.

Essas redes aproveitam esses contatos oportunisticos para tentar prover conectividade, mesmo que com atrasos ou interrupções, a outros nós que de outra forma estariam completamente isolados ou desconectados do restante da rede.

As redes DTN utilizam-se de uma técnica denominada armazena-transporta-encaminha (*store-carry-forward*) onde os nós da rede podem armazenar a mensagem e a transportar até que esta possa ser entregue ao seu destinatário ou encaminhada para outro nó com o mesmo objetivo.

Para implementar esse mecanismo de armazena-transporta-encaminha nos nós uma nova camada na pilha de protocolos denominada *bundle* foi implementada.

Como pode ser visto na Figura 1 esta nova camada se situa acima da camada de transporte e abaixo da camada de aplicação, ou seja, ela atua diretamente no modo como os pacotes de dados são transportados de um nó para outro.

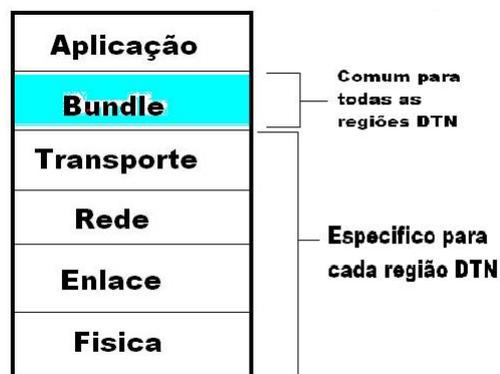


Figura 1 – Pilha de protocolos.

Nas redes DTN cada nó pode agir como um *host*, um roteador ou um *gateway*. Quando o nó se comporta como um roteador a camada *bundle* pode armazenar, carregar e encaminhar pacotes inteiros de dados ou fragmentos destes entre nós de uma mesma região.

Entretanto, quando o nó se comporta como um *gateway* a mesma camada *bundle* pode transferir pacotes ou fragmentos de pacotes de uma região para outra.

Um nó que receba uma mensagem para ser entregue a outro nó, manterá esta mensagem armazenada até que esta possa ser entregue ao nó de destino ou a outro nó intermediário.

Esses nós intermediários são também chamados de nós custodiantes, pois mantêm a custódia da mensagem até que esta possa ser encaminhada a outro nó. Após um determinado período de tempo as mensagens obsoletas, que tenham podido ser entregues ou não, podem ser descartadas pelos nós custodiantes.

Os protocolos convencionais de redes *ad hoc* focados em situações onde os nós agem como roteadores falham ao estabelecer rotas em redes DTN. Isso acontece principalmente porque os protocolos de roteamento padrão focam em selecionar determinados caminhos dentre várias opções, enquanto as redes DTN focam em ser o mais eficiente possível com poucos caminhos disponíveis. Portanto, as redes DTN precisam de protocolos específicos para o seu modo de funcionamento.

Os protocolos para rede DTN podem ser classificados de acordo com a metodologia utilizada para encontrar os destinos das mensagens, uma dessas metodologias é a baseada em réplicas.

Protocolos baseados em réplica possuem melhor taxa de entrega de mensagens do que protocolos baseados em encaminhamento. Eles funcionam criando várias réplicas ou pacotes na rede, com cada nó mantendo uma cópia de cada mensagem e as retransmitindo quando há conectividade. Esses protocolos também são conhecidos como baseados em *flooding*.

A utilização de várias cópias aumenta a probabilidade de entrega das mensagens ao destino, entretanto esta abordagem consome muitos recursos da rede. Alguns protocolos que se utilizam desta técnica são o *Epidemic*, *Maxprop*, *Spray and Wait* e o *Prophet*. Esses protocolos são descritos abaixo com mais detalhes:

- O protocolo ***Epidemic*** (VAHDAT; BECKER, 2000) tenta disseminar cópias das mensagens por toda a rede ou seja, todos os nós podem estar transportando a mensagem e cada nó ao encontrar com o outro nó da rede apenas troca as mensagens que eles não têm em seu buffer de memória.

Essa técnica de disseminação garante uma alta tolerância a falhas de nós na rede, garantindo um número suficiente de trocas de mensagens entre todos os nós da rede, eles eventualmente receberão as mensagens em um curto período de tempo. Esta abordagem não requer informações sobre topologia da rede, entretanto os recursos da rede são consumidos de forma bastante voraz.

- O Protocolo ***Maxprop*** (BURGESS et al., 2006) foi desenvolvido na universidade de Massachusetts e define uma ordem de prioridade na fila dos pacotes. Os pacotes que precisam ser descartados e aqueles que precisam ser transmitidos são então classificados de acordo com essa prioridade.

A prioridade dos pacotes é baseada na probabilidade de entrega ao nó de destino de acordo com dados históricos e outros mecanismos auxiliares tais como uma lista de nós intermediários, notificações de recebimento e novos pacotes são priorizados em detrimento de pacotes mais antigos.

Diversos métodos podem ser utilizados para definir essa prioridade, incluindo a taxa de sucesso em definir um determinado caminho para um determinado nó ou a quantidade de tentativas bem sucedidas de entrega de mensagem de um determinado nó para outro. Essa técnica melhora de maneira geral a taxa de entrega de mensagens.

- O protocolo *Spray and Wait* (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005) combina a rapidez do roteamento *Epidemic* com a simplicidade da entrega direta. De forma a utilizar eficientemente os recursos da rede, este protocolo define um limite  $N$ , dado pelo parâmetro  $L$  de ajuste do protocolo, para o número de cópias das mensagens sendo duplicadas na rede em duas fases distintas: a fase disseminar (*spray*) e a fase de espera (*wait*).

Junto com cada mensagem é enviado um indicador do número máximo de cópias desta mensagem. Durante a fase disseminar,  $N$  cópias são disseminadas na rede de forma epidêmica e quando um número suficiente de cópias foi disseminado para garantir que pelo menos um deles irá chegar ao destino de forma rápida esta fase é encerrada.

Os nós que tenham recebido uma cópia da mensagem a mantêm armazenada e passam para a fase de espera na qual cada nó carregando uma cópia da mensagem irá tentar entregar a mensagem de forma direta.

- O protocolo *Prophet* (LINDGREN; DORIA; SCHELEN, 2003) parte da premissa de que o encontro dos nós de uma rede raramente são totalmente aleatórios. Operando de forma probabilística este protocolo estima uma métrica probabilística chamada previsão de entrega. Essa métrica indica a probabilidade de sucesso em entregar uma mensagem a um determinado nó de destino a partir de um outro nó de origem.

O protocolo *Prophet* trabalha de forma similar ao roteamento *Epidemic*, quando dois nós se encontram eles trocam um vetor de informação contendo uma previsão probabilística de entrega. Teoricamente se dois nós se encontram frequentemente eles tem alta probabilidade de entrega entre eles, entretanto se um determinado par de nós não se encontram por um longo tempo eles não são bons para encaminhar mensagem entre eles ou seja, a probabilidade de entrega entre eles tende a ser menor.

Ao apresentar um comportamento probabilístico de encontros entre nós encaminhando mensagens somente para os nós que tem mais probabilidade de encontrar com o nó de destino, este protocolo consegue diminuir a inundação de pacotes de mensagens na rede e, conseqüentemente, diminuir o consumo de recursos como *buffer* de mensagens e banda.

Por suas características, as redes DTN podem ser utilizadas com vantagens se comparadas com as redes *ad hoc* e *mesh* em cenários de desastre. Em um cenário de desastre como o investigado neste trabalho, essa arquitetura poderia ser utilizada não só para enviar mensagens com informações de evacuação para os civis que ainda se encontrem nas áreas atingidas mas também enviar mensagens ao(s) VANT(s) o qual, ao entregar mensagens ao centro de controle

ou as equipes de apoio e resgate, também entregariam mensagens desses civis com informações de sua localização e condições físicas.

## 4 VANTs

Desde sua invenção, o avião permitiu que o homem, ao ganhar a capacidade de voar, pudesse realizar tarefas que antes eram impossíveis.

Aliás, antes mesmo do avião, balões, dirigíveis ou não, já eram utilizados com o intuito de voar transportando passageiros de forma mais rápida e alcançando lugares antes inacessíveis.

De qualquer forma, em ambos os casos, essas aeronaves sempre precisaram de alguém que as comandasse controlando sua trajetória e altitude. Dependendo do porte e complexidade das aeronaves, além do piloto são necessárias outras pessoas para auxiliar no manejo dessas máquinas. Essas pessoas são a tripulação da aeronave as quais auxiliam o piloto fornecendo-lhe basicamente informações de aeronavegação e situação geral da aeronave (uma pane em um motor ou a iminente falta de combustível por exemplo).

Inúmeros avanços tecnológicos simplificaram os procedimentos necessários à pilotagem. A instalação, a bordo das aeronaves, de computadores capazes de sintetizar em poucas telas diversas informações cruciais ao voo, conseqüentemente diminuiu o tamanho da tripulação a bordo das aeronaves. Também tornaram o voo em si mais seguro ao implantar diversos mecanismos de segurança, informando ao piloto eventos críticos que comprometam de alguma forma a integridade da aeronave e seus passageiros.

Mesmo assim existem situações nas quais a tripulação de uma aeronave estará em risco independentemente de quanta tecnologia seja empregada para mantê-la segura. Por exemplo, em um cenário de guerra um avião pode ser atingido pelo inimigo e ser derrubado; em ambientes de condições climáticas adversas os computadores a bordo da aeronave podem entrar em pane, fornecendo informações incorretas ao piloto; ou ainda, um ambiente que contenha elementos nocivos à saúde humana, como a radiação, a qual pode afetar tanto os equipamentos a bordo como as pessoas, que poderão sofrer seus efeitos a longo prazo.

Algumas dessas missões de risco poderiam ser realizadas sem que fossem colocadas vidas humanas em perigo uma vez que, além da necessidade de um piloto para efetivamente pilotar a aeronave, nenhuma outra ação se faz necessária por parte desse profissional.

Tendo isso em mente e tirando vantagem dos avanços tecnológicos, principalmente no campo das telecomunicações e da micro eletrônica de uma forma geral, uma nova classe de aeronaves foi criada retirando o piloto, e qualquer tripulação da cabine de comando dessas aeronaves, criando mecanismos para que elas pudessem ser controladas remotamente: os VANTs.

Os VANTs são veículos aéreos não tripulados os quais podem ser controlados de forma remota, por um operador, ou terem seu percurso pré-programado. Podem ser classificados em cinco categorias básicas (SARRIS; ATLAS, 2001), as quais englobam tanto as aeronaves de asa fixa (aviões, planadores etc.) quanto às de asas rotativas (helicópteros e girocópteros) e as que não se enquadram em uma categoria específica convencional (quadricópteros, foguetes, balões, pipas, etc.).

O conhecimento necessário para o desenvolvimento dos VANTs, como se pode supor, origina-se da base de conhecimento da aviação moderna. Entretanto, os projetistas de VANTs não precisam levar em consideração o fator humano a bordo destas aeronaves.

Isso dá aos VANTs a vantagem de permitir a eliminação da cabine do piloto com a conseqüente redução de peso, assim como, a habilidade de sustentar atitudes de voo onde a força da gravidade é aumentada em muitas vezes.

Uma das características mais importantes dos VANTs é a carga útil que podem carregar. Essa carga útil pode ser uma câmera de vídeo, equipamentos de reconhecimento diurno e noturno e em geral, qualquer equipamento que seja necessário para que o VANT complete sua missão.

Com os avanços tecnológicos dos últimos dez anos na área da micro eletrônica, melhorias significativas foram possíveis originando por exemplo giroscópios de estado sólido e sensores inerciais mais sofisticados permitindo a construção de VANTs mais e mais confiáveis em termo de controle de voo. A tecnologia moderna de telecomunicação, por exemplo, já permite o envio de comandos de voo e missões para essas aeronaves a altas taxas de transferência de dados e longas distâncias.

## 4.1 Classificação de VANTs

De acordo com (LONGHITANO, 2010), os veículos aéreos não tripulados ou VANTs apresentam uma grande variação quanto a sua forma, modo de propulsão e alcance mas em geral é um sistema composto por três blocos principais: a aeronave em si, a estação de controle em solo e o operador.

O operador tem a função de programar as missões de voo que serão executadas pelo VANT, alterá-las ou atualizá-las durante o decorrer da missão ou, em situações específicas, assumir o controle manual do VANT.

A estação de controle fica encarregada de enviar as informações inseridas pelo operador ao VANT e receber informações de telemetria, como por exemplo altitude, velocidade e coordenadas GPS.

A aeronave, o elemento desse conjunto que efetivamente executa as ações fim, recebe classificações quanto ao seu alcance e tipo de voo realizado (SARRIS; ATLAS, 2001). A tabela 2 apresenta a classificação quanto ao alcance.

Quanto ao tipo de voo realizado, os VANTs podem ser capazes de decolagem e aterrissagem verticais (*vertical take-off and landing*, VTOL) ou podem necessitar de pistas de determinadas dimensões (SARRIS; ATLAS, 2001; LONGHITANO, 2010).

Os VANTS com capacidade de VTOL podem pairar no ar indefinidamente e voar em qualquer direção (para frente, para trás e para os lados). Um grande problema dos VANTs VTOL é que eles gastam grande parte da energia de voo mantendo sua sustentação no ar, por isso esse

Tabela 2 – Classificação de VANTs quanto ao alcance.

Curti-ssimo alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeronaves que tem um alcance operacional de menos de 25km.</li> <li>• Normalmente essas aeronaves são bastante leves e podem ser lançadas manualmente.</li> </ul>
Curto alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta categoria de aeronave tem um alcance entre 25 e 100km.</li> </ul>
Alcance médio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nesta categoria as aeronaves tem um alcance entre 100 e 200km</li> <li>• São sistemas com uma aerodinâmica mais aprimorada e sistemas de controle mais avançados devido à sua grande performance.</li> </ul>
Longo alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeronaves capazes de alcançar distâncias entre 200 e 500km.</li> <li>• De forma idêntica à categoria anterior, essas aeronaves precisam de sistemas bastante complexos e sofisticados e até mesmo links satélite e/ou estações de retransmissão para minimizar os problemas de comunicação com o centro de comando devido a curvatura da terra.</li> </ul>
Alcance extra-longo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas capazes de alcançar distâncias maiores de 500km ou permanecerem no ar por mais de 20hs.</li> <li>• São considerados os sistemas mais sofisticados de VANTs devido a sua grande capacidade e versatilidade para executar missões.</li> </ul>

tipo de VANT tem uma autonomia baixa sendo utilizados em missões de curto alcance ou que não exijam tempos de voo prolongados.

Existe também uma categoria relativamente nova de VANTs chamada micro VANTs que são aeronaves com tamanho menor que quinze centímetros de comprimento. O desenvolvimento desse tipo de VANT está associado a idéias revolucionárias e ao atual estado da arte das tecnologias nos campos da navegação, controle de voo, micro eletrônica, telecomunicação e propulsão. Esse tipo de sistema se destaca em aplicações de vigilância, detecção de derramamento químico e situações de emergências dentro de cidades e até mesmo prédios pois suas dimensões bastante reduzidas permitem seu deslocamento sem maiores embaraços em espaços mais restritos.

Com o surgimento de baterias de alta capacidade de descarga, dispositivos de rádio de longa distância e microprocessadores e motores mais poderosos os micro VANTs estão se tornando

facilmente utilizáveis para interesses civis como sensoriamento remoto, mapeamento, monitoria de trânsito, busca e resgate. Os micro VANTs tem um tamanho total relativamente pequeno e são bem leves, podem ser descartáveis, são fáceis de construir e operar. A maioria deles pode ser operada por uma ou duas pessoas e/ou ainda serem lançados e recuperados manualmente não necessitando portanto de longas pistas para pouso e decolagem.

#### 4.1.1 Aplicações de VANTs

Retirando-se o piloto da cabine, uma vez que os VANTs não necessitam de pilotos em seu interior, eles representam uma grande vantagem sobre as aeronaves convencionais já que durante o voo nenhuma vida humana estará em risco direto a bordo da aeronave. Esta vantagem permite aos VANTs realizarem missões que nenhuma outra aeronave tripulada poderia realizar devido ao alto risco, como por exemplo, inspeção de reatores nucleares, vazamentos químicos, vulcões em atividade, furacões e missões de resgate sob más condições climáticas.

Por essas razões os VANTs estão se tornando parte integral das forças militares modernas em todo o mundo e também estão ganhando terreno na utilização civil, tais como patrulhamento de fronteira inspeção de plataformas e coletas de dados oceanográficos e meteorológicos.

Os VANTs são normalmente utilizados em tarefas perigosas demais para serem realizadas por aeronaves tripuladas. Além de requererem menos recursos para cumprirem missões que normalmente iriam necessitar de grande mobilização de pessoal e equipamento, podem ainda prover serviços de vigilância, reconhecimento e comunicações para os comandantes no campo de batalha. Na utilização civil eles podem se tornar uma plataforma de sensores valiosa para pesquisa ambiental. Algumas aplicações são:

1. Patrulhamento de fronteiras;
2. Busca e resgate de sobreviventes de naufrágios e acidentes aéreos;
3. Combate a incêndios florestais onde VANTs equipados com sensores de infravermelho podem detectar focos de incêndios e avisar as brigadas de combate a incêndios;
4. Em telecomunicações VANTs de grande altitude e longa autonomia podem ser utilizados como satélites;
5. VANTs do tipo VTOL podem substituir helicópteros policiais de forma mais econômica auxiliando a policia;
6. Gerenciamento de desastre e emergência, VANTs equipados com cameras podem fornecer informações em tempo real de situações calamitosas como por exemplo enchentes;
7. Pesquisa científica de natureza ambiental, atmosférica, arqueológica dentre outras, podem ser auxiliadas por VANTs equipados com os sensores apropriados;

8. Aplicações industriais tais como aplicação de agrotóxicos em lavouras, inspeção de usinas nucleares e inspeção de queimadores de plataforma de petróleo.

Os VANTs já provaram que são capazes e confiáveis o suficiente para realizar complicadas e desafiadoras missões com sucesso e vem se tornando mais e mais sofisticados, com o mercado mundial de fabricantes de VANTs podendo ser capaz de prover uma ampla variedade de sistemas variando desde uma aeronave menor do que quinze centímetros, que pode entrar em edifícios e coletar informações, até plataformas aéreas que podem voar ao limite da atmosfera por mais de trinta horas.

Como exemplo podemos citar o projeto recentemente iniciado pela empresa GOOGLE denominado *loon* que utiliza VANTs do tipo balão que voam na região da estratosfera, a cerca de vinte quilômetros acima da superfície terrestre, equipados com painéis solares e equipamentos de rádio operando na banda de ISM com o objetivo de prover conectividade a áreas remotas e rurais e auxiliar na conectividade de certas regiões após a ocorrência de desastres (GOOGLE, 2013,)

#### 4.1.2 Sistema de controle de VANTs

Uma aeronave pode rotacionar em torno de 3 eixos a partir de seu centro de gravidade: rolagem lateral ou *roll*, controle de atitude ou *pitch* e controle de proa ou *yaw*, como pode ser visto na figura 2.

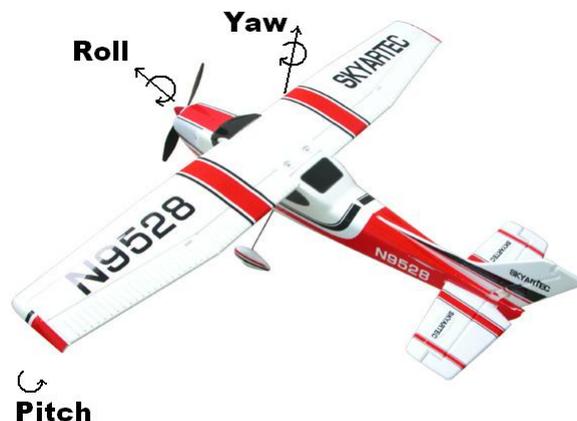


Figura 2 – Eixos de rolagem de um avião.

As superfícies de comando primárias de um VANT de asa fixa podem incluir os seguintes comandos:

1. - **Ailerons**: para controlar o ângulo de *roll*;
2. - **Elevator**: para controlar o ângulo de *pitch*;
3. - **Rudder**: para controlar o ângulo de *yaw*;

4. - **Throttle**: para controlar a potência do motor.;

Alguns micro VANTs podem não ter todas essas superfícies de comando. As asas voadoras por exemplo tem somente um controle de motor *Throttle* e duas superfícies de controle (*aileron* esquerdo e *aileron* direito), porém os *ailerons* podem trabalhar em conjunto para funcionarem como *elevators*. Os *ailerons* assim configurados são chamados *elevons* pois possuem as funções de *aileron* e *elevator* nas mesmas superfícies de comando.

Esses micro VANTs normalmente possuem dois modos de controle: por controle remoto e por piloto automático.

O modo por controle remoto requer um piloto humano controlando o VANT através de sinais de rádio, enquanto que no modo de piloto automático a aeronave pode manter-se automaticamente em um determinado estado estável de voo.

Um terceiro modo também pode existir onde por exemplo o sistema de piloto automático mantém a altitude do VANT enquanto o piloto humano controla o percurso de voo.

Os micro VANTs rádio controlados também são conhecidos como aeromodelos de rádio controle, os quais são normalmente controlados por um piloto de aeromodelo experiente, através de um transmissor de rádio controle portátil, como pode ser visto na Figura 3.

Nesse sistema básico de rádio a alavanca da esquerda quando acionada no sentido longitudinal do rádio controla o motor do VANT enquanto a alavanca da direita sendo acionada no sentido longitudinal controla o ângulo de *pitch* fazendo o VANT ganhar ou perder altitude e essa mesma alavanca sendo movimentada no sentido das laterais do rádio controla o ângulo de *roll* do VANT levando-o a fazer curvas para a esquerda ou direita de acordo com o comando aplicado. Esse sistema opera na faixa ISM de 2,4 GHz.



Figura 3 – Transmissor de rádio controle.

Os micro VANTs são projetados para voar a baixas altitudes, geralmente abaixo de mil metros. Um dos problemas desse voo a baixa altitude é a maior probabilidade de ocorrência de colisões desses VANTs com obstáculos naturais ou até mesmo casas e prédios. Desta forma um sistema robusto e preciso de piloto automático é indispensável para que esses pequenos VANTs cumpram com sucesso missões como as de vigilância a baixa altitude.

Os sistemas de piloto automático são sistemas que basicamente guiam o VANT durante o voo, sem a assistência de operadores humanos. Os pilotos automáticos foram inicialmente desenvolvidos para o controle de mísseis e posteriormente sua aplicação foi estendida aos aviões e navios.

Um sistema mínimo de piloto automático inclui sensores de atitude, sistema de processamento embarcado para o processamento das informações dos sensores e acionamento das superfícies de comando da aeronave ou seja, um piloto automático é um sistema eletromecânico utilizado para pilotar o VANT sem assistência de um operador humano, consistindo de hardware e seu respectivo software com o objetivo de guiar os VANTs através de um determinado caminho ou para que atinja determinados pontos de interesse pré-programados.

Um sistema de piloto automático sofisticado pode ser capaz inclusive de controlar um VANT em todos os seus estágios de voo incluindo decolagem, subida, cumprir uma missão de acordo com a trajetória estabelecida, descer e pousar.

Um sistema básico de piloto automático inclui uma série de sensores para determinar o estado atual do VANT e processadores embarcados para estimativas e controle de circuitos periféricos para comunicação com os servo mecanismos de controle das superfícies de comando além de um link de rádio para a comunicação com a estação em solo.

Devido às limitações de tamanho e capacidade de carga útil dos micro VANTs esses pilotos automáticos precisam ser pequenos, leves e consumir pouca energia.

O sistema de piloto automático basicamente funciona em loop fechado compreendendo duas partes: a observação do estado atual da aeronave através de seus diversos sensores e o controle das superfícies de comando para manter a aeronave voando de acordo com os parâmetros programados.

Os sensores mais utilizados para observar o estado atual da aeronave são o giroscópio para manter a estabilidade do VANT, acelerômetros para perceber mudanças sutis de atitude da aeronave e bússola eletrônica para orientação geográfica básica. Existem também outros dispositivos capazes de determinar a atitude da aeronave, tais como os baseados em infravermelho e os baseados em visão robótica. Os dados lidos por esses sensores juntamente com as informações de GPS são combinadas em um filtro para gerar estimativas do estado atual da aeronave. Normalmente por serem mais fáceis de serem implementados os algoritmos utilizados para converter essas estimativas em controles para o VANT baseiam-se em uma abordagem proporcional-integral-derivativa.

A abordagem proporcional-integral-derivativa (PID) basicamente emprega um controle proporcional ao VANT de acordo com a intensidade do desvio observado nos sensores enquanto o controle integral procura limitar a atuação proporcional de modo que essa resposta seja proporcional à intensidade e duração do desvio observado. O controle derivativo completa o mecanismo de controle proporcionando uma atuação PI de acordo com a velocidade de variação dos desvios observados.

Conforme anteriormente comentado diversos sensores inerciais podem ser utilizados para

medir a posição de aeronaves relativa à latitude, longitude e altitude e informações de atitude. A tecnologia atual de micro processamento permite a utilização de sensores pequenos e leves e alguns deles incluem:

1. - Receptor de GPS: para medir a posição absoluta e velocidade do VANT em relação ao solo;
2. - Giroscópio: para medir deslocamentos angulares;
3. - Acelerômetro: para medir a aceleração;
4. - Bússola eletrônica: utilizada para fazer correções de curso;
5. - Sensor de pressão: para medir a velocidade no ar e altitude barométrica;
6. - Sensor ultrassônico: para medir a altitude relativa ao solo;
7. - Sensor infra vermelho: para medir a atitude;
8. - Câmeras RGB ou sensores de imagem capazes de substituir alguns dos outros sensores.

De todos esses sensores um dos mais importante é o GPS pois fornece uma medida absoluta de posicionamento da aeronave com dados precisos de altitude, posicionamento global e velocidade. Porém os sistemas de GPS são suscetíveis à falhas em condições adversas de clima como por exemplo durante tempestades ou fortes chuvas.

## 4.2 VANTS em cenários de emergência

Em 1998 o VANT aerosonda recebeu a missão de sobrevoar o ciclone tropical Typhoon localizado a oeste da costa da Austrália, a missão foi completada com sucesso e foi a primeira vez na história que meteorologistas tiveram a oportunidade de colher dados de uma plataforma aérea sobrevoando tão próximo a área de um ciclone (MACKDONALD, 1998).

No Brasil, algumas instituições já utilizam VANTS para a realização de missões de inspeção, aerofotografia, aeromapeamento e treinamento de tropas (MIRANDA, 2009) e diversas empresas tem se dedicado ao desenvolvimento e comercialização de VANTS (LONGHITANO, 2010).

A inspeção de altas torres de transmissão de energia, queimadores em plataformas de petróleo, dentre outros, pode ser realizada com o auxílio de VANTS. Nestes casos os VANTS do tipo helicóptero tem sido utilizados com sucesso reduzindo drasticamente o custo e o risco das rotinas de inspeção.

A empresa Petrobras iniciou recentemente um programa para avaliar a viabilidade da utilização de VANTS do tipo helicóptero em suas plataformas de extração de petróleo. Em um estudo inicial a empresa contratou três equipes com seus respectivos VANTS para a análise dos

queimadores da plataforma e constataram que esses equipamentos podem ser empregados com grande vantagem pois, em uma inspeção normal, a plataforma teria suas atividades paralisadas, os queimadores desativados para então ser iniciado o processo de inspeção. Com a utilização de VANTs esse procedimento não se faz necessário e a plataforma pode prosseguir operando normalmente durante a inspeção.

A aerofotografia e o aeromapeamento, dependendo da área a ser abrangida, demandam um tipo de VANT que possa voar com boa autonomia e estabilidade, nesse caso os VANTs do tipo avião são mais indicados. No cenário de desastre ocorrido na região de Xerém na baixada fluminense em janeiro de 2013 o exército brasileiro contou com o auxílio de um VANT do tipo avião capaz de realizar missões por período de duas a quatro horas ininterruptas e com raio de alcance de cerca de dez quilômetros.

Naquela ocasião o VANT foi utilizado provendo o centro de comando estabelecido na região e por conseguinte as equipes de resgate, com informações visuais em tempo real captadas pela câmera embarcada naquele VANT.

No treinamento de tropas, de acordo com o cenário apresentado os VANTs do tipo helicóptero, quad ou avião podem ser utilizados, cada um apresentando vantagens específicas. Em um cenário de espaço mais restritivo à mobilidade por exemplo, o VANT do tipo quad pode mover-se sem muitos embaraços.

As forças armadas brasileiras, assim como algumas forças policiais e de defesa civil tem investido em equipamentos do tipo avião. Nesse contexto podemos citar o VANT carcará fornecido ao exército brasileiro e o drone desenvolvido em conjunto com o instituto militar de engenharia (IME) para utilização pelo batalhão de operações especiais do rio de janeiro (BOPE), ambos desenvolvidos por empresas nacionais.

As áreas de desastre por possuírem características peculiares conforme visto no capítulo 2, podem apresentar severas restrições para as equipes envolvidas nas ações de busca e resgate.

Em um ambiente desses muitas vezes pode ser difícil ou até mesmo impossível ter à disposição espaço suficiente para a instalação, mesmo que de forma precária, de uma pista para pousos e decolagens.

As áreas atingidas e, portanto, de interesse para atuação das equipes podem se estender por alguns quilômetros além do ponto onde o centro de comando está montado.

Tomando-se como base essas informações, os VANTs que assemelham suas características de voo com a dos aviões convencionais, pelas suas especificações de grande autonomia, facilidade de manuseio e velocidade de voo, dentre outras, são os mais indicados para uso em cenários de desastre onde um tempo de voo mais prolongado pode ser essencial. Além disso, sua construção e manutenção é mais simples (BEARD et al., 2005).

As asas voadoras que além de serem extremamente robustas e praticamente indestrutíveis também praticamente não necessitam de pista para sua decolagem e aterrissagem podendo ser lançadas e recuperadas manualmente, tornam-se extremamente versáteis e práticas para serem utilizadas em ambientes com pouco espaço e/ou que não disponham de uma pista. Pelos motivos

acima descritos, este trabalho se baseia nas asas voadoras como modelo de VANT adotado de curtíssimo alcance.

## 5 Trabalhos relacionados

Historicamente a comunicação entre as equipes e das equipes com o centro de controle se dá pela utilização de rádios na faixa de VHF/UHF, que operam no sistema *half-duplex*, ou seja, apenas um fala de cada vez enquanto o(s) outro(s) escuta(m). No entanto, novas tecnologias de comunicação para auxiliar nesses cenários vêm sendo propostas, como em (DILMAGHANI; RAO, 2008) onde uma infraestrutura de comunicação baseada em redes *mesh* é proposta para ser implementada nesse tipo de cenário.

Em (BRAUNSTEIN et al., 2006) é proposta uma nova arquitetura de rede sem fio híbrida e distribuída para auxiliar as equipes de emergência de forma escalável. Baseia-se em uma estrutura do tipo *mesh* para prover conectividade entre os nós e dos nós para o mundo (Internet). Um dos problemas dessa solução é a necessidade de instalação de pontos infraestruturados, o que nem sempre é possível em virtude das limitações da área do desastre.

Uma solução interessante apresentada em (DILMAGHANI; RAO, 2008) é a utilização de *tiers*, ou níveis, para separar os diversos tipos de conexões dos dispositivos. Em cada nível temos clientes utilizando PDAs, *notebooks* e iTAGs (por exemplo, etiquetas RFID), em outro nível temos nós *mesh* e em um terceiro nível *links* provendo conexão à Internet. Embora essa solução também precise de nós infraestruturados no segundo nível, uma vez que a solução é separada em níveis, existe a possibilidade de substituir a tecnologia utilizada neste nível por uma solução mais adequada para um ambiente de desastre restritivo a uma solução infraestruturada.

O trabalho em (YARALI; AHSANT; RAHMAN, 2009) propõe redes *mesh* como solução de conectividade em cenários de emergência, no entanto se os roteadores e *gateways* não puderem contar com fontes de energia capazes de fornecer energia por longos períodos. Eventualmente alguns desses equipamentos poderão ficar inoperantes, comprometendo a conectividade.

Um algoritmo hierárquico para redes DTN é proposto em (MOTA; SILVA; NOGUEIRA, 2009) com o intuito de suprir eventuais carências de infraestrutura de rede de comunicação. Esse algoritmo objetiva aumentar a taxa de entrega de dados em redes intermitentes sem afetar o *overhead* de comunicação da rede.

Em (JIANG; BIGHAM; BODANESE, 2011) é proposta uma forma de utilizar estas redes para auxiliar as vítimas de uma situação de emergência. A proposta é a de que os celulares das vítimas sejam utilizados como nós em uma rede oportunística utilizando-se um protocolo *Epidemic* modificado para este fim. Neste contexto, um cenário hipotético de incêndio em um prédio de três andares é explorado em (GELENBE; GORBIL, 2012), onde é verificada a resiliência em caso de falhas de alguns dos nós móveis.

Durante um desastre a percepção da situação ou o entendimento da gravidade e extensão da situação de emergência é um fator crítico para minimizar o número de feridos, mortos e danos à propriedade. Em (FALL et al., 2010) é proposta uma arquitetura tolerante a desconexões. A proposta é a de que as pessoas comuns, envolvidas diretamente com a situação de desastre

ou não, possam fornecer informações como texto, imagens etc às equipes de apoio e resgate, bastando, para isso, que essas pessoas estejam próximas de um outro nó da rede capaz de encaminhar as mensagens, o que nem sempre é viável.

Em (SIVAKUMAR; TAN, 2010) é proposto um mecanismo de controle para permitir o voo em formação de vários VANTs, com o objetivo de utilizar esses VANTs como *backbone* para conectar eventuais nós móveis em terra ao redor de uma área específica, onde hajam equipes de resgate ou sobreviventes. Entretanto, neste trabalho não é investigado o desempenho dos protocolos de roteamento.

Em (CAMPILLO et al., 2012) apresenta-se um estudo do desempenho de alguns protocolos de redes DTN para cenários de emergência. O estudo leva em consideração apenas que os nós estarão se deslocando da área do incidente para a área onde será feita a triagem das vítimas, trocando mensagens entre si nessas regiões e no caminho de uma região para outra. Entretanto, não é considerado o uso de VANTs.

## 6 Avaliação experimental

Em qualquer simulação, quanto mais próximo dos parâmetros reais os dados de entrada da simulação estiverem, mais realísticos os resultados obtidos nas simulações serão.

Portanto, é desejável que os parâmetros inicialmente inseridos nos simuladores sejam os mais realísticos possíveis, devendo ser obtidos com pesquisas em campo para a coleta desses dados iniciais.

Essa tarefa nem sempre é tão simples e em alguns casos pode ser praticamente impossível, mesmo dispondo-se de grandes recursos financeiros e tecnológicos.

Além disso, apesar de que em alguns casos essas informações estejam disponíveis para livre acesso, em alguns segmentos de pesquisa pode existir uma grande carência de dados realísticos.

No segmento dos VANTs, embora diversos trabalhos tenham sido publicados nos últimos anos, pouca ou nenhuma informação está disponível sobre o comportamento de voo dessas aeronaves.

Embora algumas informações oriundas de aeronaves convencionais tripuladas possam ser utilizadas como base, nem sempre é o melhor caminho pois, um VANT do tipo helicóptero, por exemplo, é capaz de manter voo de cabeça para baixo, algo que nenhum helicóptero convencional atual é capaz de fazer.

Com o objetivo de obter dados os mais realísticos possíveis para utilização em nossas simulações, a abordagem adotada neste trabalho foi a de coletar traços de movimentos reais dos VANTs com o auxílio de equipamentos de telemetria obtendo-se assim informações de voo tais como coordenadas X, Y e Z, velocidade média, ângulos de inclinação em curvas e raios de curva. Esses dados foram coletados em dois cenários distintos com o VANT realizando voos contínuos entre o centro de comando e os pontos de interesse definidos. Os dados coletados foram então inseridos no simulador de redes oportunísticas, o THE ONE, para a avaliação de alguns protocolos de redes DTN nesses cenários.

### 6.1 Cenários de emergência investigados

Nos cenários de estudo deste trabalho consideramos que diversas equipes de busca e/ou resgate estarão próximas às regiões de interesse, porém suas localizações exatas podem ser desconhecidas.

Outro ponto importante e crucial para este trabalho é a eventual dificuldade de comunicação encontrada por essas equipes para se comunicarem entre si e com o centro de comando.

Consideramos ainda que, nesses cenários, os nós têm restrições de mobilidade. Assim, os VANTs podem assumir a importante função de receber e entregar as mensagens entre os nós desconexos nessa rede.

Um dos desafios desse cenário é fazer com que os nós móveis, os VANTs, consigam atender as requisições de comunicação dos nós isolados em terra. Uma vez que, como exposto anteriormente, a localização exata dos nós em terra nem sempre é conhecida, a rota de vôo dos VANTs deve ser planejada de forma a cobrir as regiões de interesse de forma sistemática.

Além disso, é importante observar que, dependendo da altitude e do relevo da região, o alcance de comunicação entre os nós em terra e os VANTs pode variar, introduzindo dificuldades no funcionamento da rede de comunicações construída.

Os cenários utilizados neste trabalho buscam representar o espaço físico de desastres naturais de Nova Friburgo e no distrito de Xerém pertencente ao município de Duque de Caxias. Esses cenários apresentam características distintas: no cenário de Nova Friburgo foi representada uma situação simples na qual existem apenas o centro de comando e dois pontos de interesse; o cenário de Xerém é mais complexo por possuir quatro pontos de interesse mais distante do centro de comando que no cenário de Nova Friburgo. Portanto, resultados distintos de funcionamento da rede DTN e de seu desempenho são esperados.

### 6.1.1 Descrição do cenário representativo do desastre natural na cidade de Nova Friburgo

O cenário adotado para a simulação (Figura 4) corresponde ao mapa da região central da cidade de Nova Friburgo, assolada por deslizamentos de terra em virtude de fortes chuvas que aconteceram em janeiro de 2011. As linhas circulares cheias indicam as zonas de interesse e o ponto o centro de comando enquanto a linha tracejada indica a região limítrofe da trajetória do VANT.

Este cenário caracteriza-se por ter dois pontos de interesse, localizados da seguinte forma: o ponto de interesse **A** está próximo do centro de comando **CC** e o ponto **B** está acima do ponto **A**. Os VANTs sobrevoando essas regiões conseguem estabelecer contato com os nós em terra com uma maior frequência, pois, o VANT passa pelo ponto de interesse **A** tanto no percurso de ida até o ponto de interesse **B** quanto no percurso de volta ao centro de comando **CC**.

Os pontos de interesse são de acesso muito restrito por terra pois na ocasião do desastre a única estrada de acesso ficou interditada e mesmo o acesso ao centro de comando tornou-se difícil a partir desses pontos de interesse.

Neste cenário, as informações de voo utilizadas para sua composição foram obtidas a partir de voos em um campo em Guapimirim. Esse local foi escolhido devido a infraestrutura existente no local para a condução dos experimentos e características regionais semelhantes a de Nova Friburgo como por exemplo área montanhosa e vegetação densa ao redor da área de experimentação.

Uma vez que a coleta foi efetuada no campo de Guapimirim, foram realizados voos seguindo o padrão apresentado no mapa da figura com o VANT realizando voos entre o centro de comando e os pontos de interesse.

Nestes pontos específicos o VANT realiza três voltas de cerca de cinquenta metros de raio

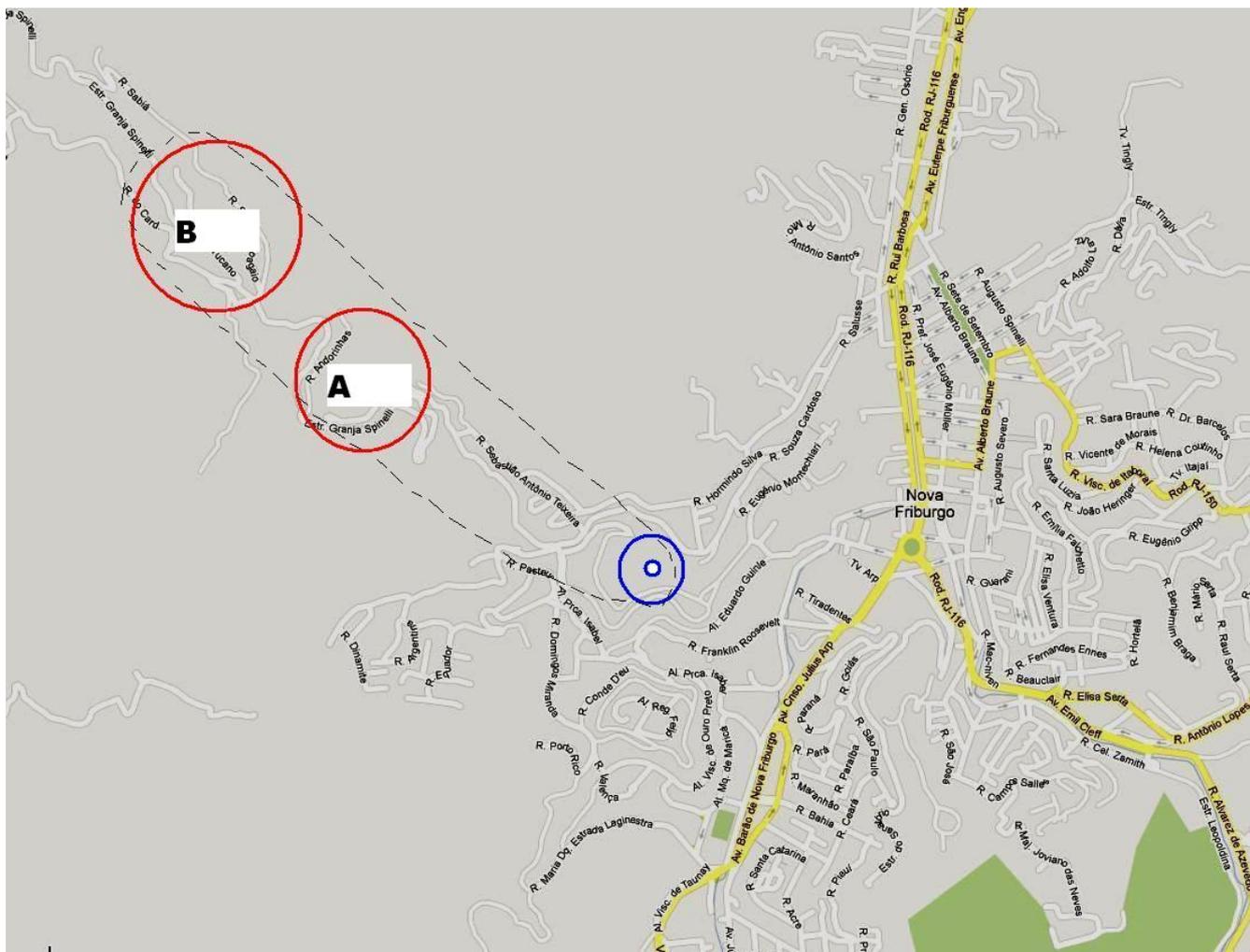


Figura 4 – Região central de Nova Friburgo.

dando assim tempo para que as mensagens sejam enviadas ao VANT ou recebidas dele. Os dados coletados foram utilizados então em uma simulação do cenário.

### 6.1.2 Descrição do cenário representativo do desastre natural no distrito de Xerém

A parametrização do cenário do distrito de Xerém levou em consideração as informações disponibilizadas nos meios de comunicação pela empresa Flight Technologies, a qual auxiliou a defesa civil do Rio de Janeiro mapeando as áreas atingidas. Com base nos dados coletados dos meios de comunicação disponibilizados pela defesa civil e pela empresa Flight Technologies (FLIGHTONE, 2013) foi elaborado o mapa da Figura 5

A empresa Flight Technologies, por ocasião de suas atividades de auxílio, utilizou como centro de comando o campo de aeromodelismo da região. Esse mesmo campo pode ser utilizado para a obtenção dos dados para este trabalho aproximando em muito o cenário proposto do

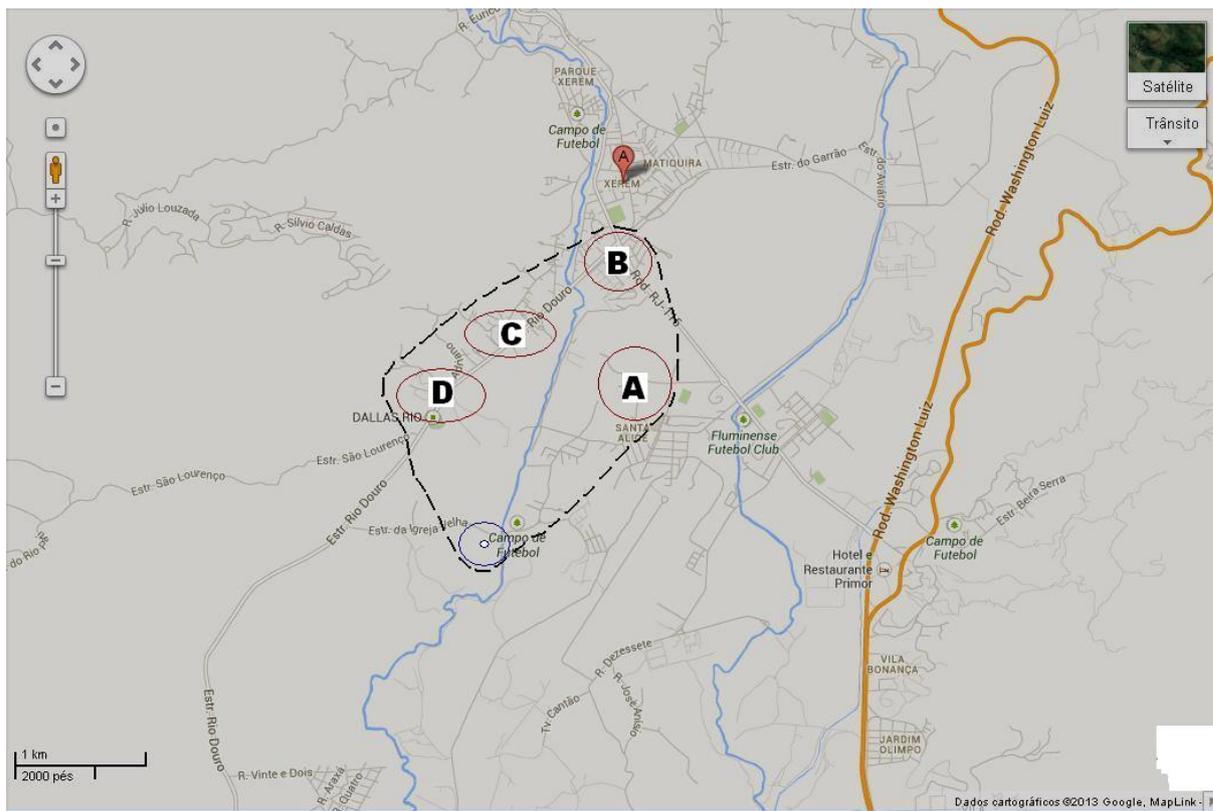


Figura 5 – Cenário de Xerém.

cenário real ocorrido na região.

A peculiaridade intrínseca deste cenário é que os pontos de interesse, em número de quatro, encontram-se distribuídos de forma tal que cada VANT tem contato com os nós em terra alocados em cada um desses pontos apenas uma vez em seu percurso de saída do centro de comando com destino aos pontos de interesse. No retorno ao centro de comando, o ciclo é reiniciado, ou seja, a sequência na qual um VANT realizando o percurso no sentido anti-horário e que inicie sua trajetória partindo do centro de comando **CC**, irá na sequência atingir os pontos de interesse **A**, **B**, **C**, **D** e seguir diretamente para **CC**.

Devido a essas características os pontos de interesse desse cenário tendem a apresentar um tempo maior de desconexão com os VANTs impactando diretamente na conectividade e desempenho da rede.

## 6.2 Descrição do protótipo de VANT desenvolvido para a coleta de dados de movimento

Para a obtenção dos dados das rotas de voo dos VANTs, foi montado um protótipo composto por uma asa Zagi contendo os seguintes equipamentos: bússola digital, acelerômetros, GPS e sistema de piloto automático Ardupilot. A Figura 6 mostra o protótipo desenvolvido.



Figura 6 – O Protótipo de VANT desenvolvido.

Este protótipo foi montado utilizando-se como referência o manual de construção de asas Zagi (BAILEY, 2010). O material utilizado na confecção da asa em foi isopor T, o qual proporciona uma boa resistência mecânica para a asa.

A asa foi idealizada utilizando um perfil MH5, comprimento total de um metro e sessenta centímetros e chapas de madeira balsa, que é um tipo de madeira bastante resistente e extremamente leve, para as superfícies de comando. As superfícies de comando têm sua atuação efetivada por dois servo comandos, um em cada lado da asa, da marca Towerpro, de tamanho padrão. O revestimento, ou entelamento, foi realizado com fita de empacotamento comum nas cores preto, amarelo e branco.

Com estas características de construção foi possível obter um VANT extremamente estável em vôo, permitindo um vôo facilmente controlável além de ser bastante resistente a impactos.

Como propulsão foi utilizado um motor elétrico da marca Turnigy de 750kv, do tipo sem escovas. Este tipo de motor, ao contrário dos motores convencionais de escovas, necessita de um controlador especial pois, a comutação das bobinas do motor passa a ser feita pelo controlador e não mais pelas escovas. O controlador de corrente utilizado para este motor foi da marca Turnigy, com capacidade de controlar correntes de até 40 Amperes. Este controlador permite variar a velocidade de rotação do motor de forma linear e contínua.

Uma vez que a transferência de energia é feita de forma direta pelos fios de ligação do motor às bobinas e não por escovas, a eficiência desse tipo de motor é muito maior quando comparada com um motor de mesma capacidade que utilize escovas. A hélice utilizada em conjunto com esse motor foi uma 10x7, ou seja, dez centímetros de comprimento e sete graus de passo.

Para permitir o controle de todo o VANT, este foi equipado com um receptor de oito canais trabalhando em conjunto com um transmissor da marca FUTABA, na faixa de frequência de 2,4 GHz e modulação FASST (*Futaba Spread Spectrum Transmission*), um sistema de modulação proprietário desenvolvido pela própria empresa.

Como sistema de piloto automático, para permitir vôos programados do VANT, foi utilizado o sistema de código aberto Ardupilot. Esse sistema conta com:

- Dois processadores, sendo um exclusivamente para processamento e outro para as funções de USB;
- Bússola digital com chip Honeywell HMC5883L-TR;
- Sensor de pressão barométrica para controle de altitude, da empresa Measurement Specialties, modelo MS5611-01BA03;
- GPS MediaTek, com taxa de atualização de 10 Hz e 4MB de memória para gravação de dados de voo.

As missões ou rotas de voo a serem realizadas pelo VANT são programadas através do aplicativo desenvolvido pela equipe de desenvolvimento do Ardupilot, rodando em um notebook convencional. Pode-se clicar em uma área do mapa e assinalar a tarefa a ser realizada, como por exemplo, sobrevoar e retornar à base, ou apenas alcançar o ponto e permanecer sobrevoando, dentre outras opções.

A conexão entre o notebook e o sistema de piloto automático é realizada através de um link de telemetria composto de rádios Xbee, operando na faixa de novecentos megahertz, e antenas omnidirecionais de 3 dbi o que, segundo o fabricante, garante um alcance em campo aberto de cerca de um quilômetro e seiscentos metros.

A energia necessária para o funcionamento de todo esse equipamento é fornecida por uma bateria de Lithium-Polímero de 2200 mAh, que permite uma autonomia de cerca de 30 min. de voo. Baterias de maior capacidade podem ser utilizadas para autonomies maiores, podendo ser conseguido tempos de voo de duas horas ou mais.

### 6.2.1 Configuração da trajetória dos VANTs

Podemos inferir pela descrição das características dos cenários de emergência investigados que existe uma grande dificuldade, se não uma impossibilidade, de se alcançar ou interligar os pontos de interesse de outra forma que não pelo ar. Dentro desse contexto o VANT pode ser usado para sobrevoar os pontos de interesse com o intuito de coletar e entregar mensagens aos nós em terra.

Para que haja tempo suficiente de contato entre os VANTs e os nós em terra que estejam próximos dos pontos de interesse definidos no mapa, os VANTs realizam um padrão de deslocamento no qual ao se aproximarem desses pontos iniciam um voo circular. Esse voo circular pode ser considerado como o VANT realizando uma órbita. Em cada ponto de interesse do cenário e também no centro de comando os VANTs realizam três órbitas e depois de concluída a terceira órbita continuam o percurso estabelecido na missão.

Cada órbita é realizada com um raio de cinquenta metros a uma altitude de cem metros do solo e a uma velocidade média de dez metros por segundo. No cenário de Nova Friburgo considerando todas as órbitas realizadas e o tempo de voo até atingir todos os pontos de interesse

e retornar ao centro de comando o VANT leva em média dezoito minutos e no cenário de Xerém o VANT percorre todo o circuito em dezessete minutos em média.

A possibilidade de realizar voos pré-programados com velocidade e altitude constantes nos permitiria explorar um cenário onde diversos VANTs realizariam voos apenas em determinadas áreas do cenário de emergência e trocariam mensagens em determinadas posições do mapa formando assim uma corrente de ligação entre uma área e outra onde os VANTs atuam como elos dessa corrente (Figura 7).

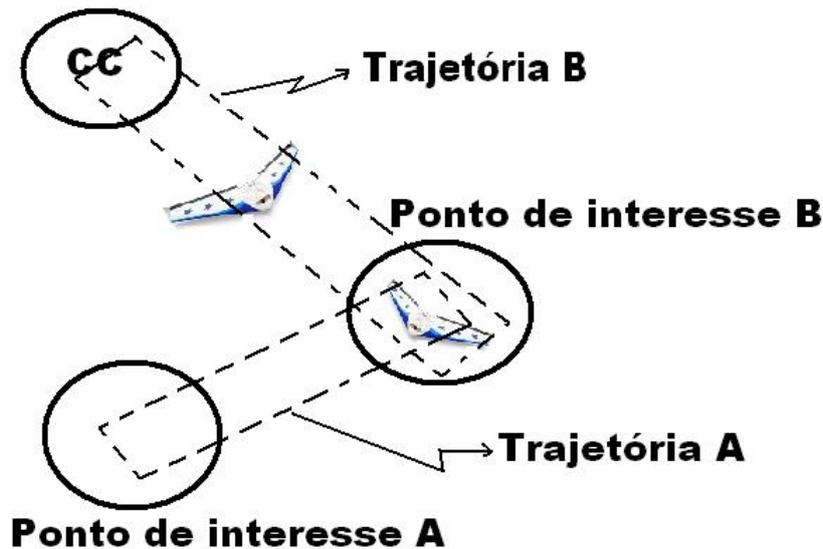


Figura 7 – VANTs com áreas de voo restritas.

Para a realização de voos com VANTs, embora ainda não exista uma legislação brasileira específica para tratar o tema, é prudente que sejam adotadas determinadas medidas de segurança para que voos de aeronaves reais não sejam colocados em perigo. Na eventualidade de um acidente com o VANT, vidas também não devem ser colocadas em risco.

Com o objetivo de ter um ambiente mais propício para o voo seguro de um VANT, as pistas de aeromodelismo, as quais já se encontram previamente autorizadas a operar e portanto contam com toda uma infraestrutura de segurança e apoio às operações dessas aeronaves, são os locais mais indicados para a realização de testes com VANTs.

Portanto, devido às dificuldades de deslocamento até a região e a disponibilidade de uma pista de aeromodelismo que pudesse servir de base para as experimentações deste trabalho, um campo com características semelhantes às da região de Nova Friburgo foi utilizado. O campo de aeromodelismo de Guapimirim, cercado por morros e montanhas, apresenta grande semelhança com o ambiente de Nova Friburgo e por este motivo foi o campo escolhido para a coleta de dados de voo para a elaboração do cenário de Nova Friburgo.

Neste campo foram realizados voos com o VANT experimental desenvolvido para este trabalho. A trajetória realizada pelo VANT foi préprogramada em seu sistema de piloto automático de forma a realizar o padrão de voo apresentado em 6.1.1.

Para a programação do sistema de piloto automático, contamos com um *software* de código aberto desenvolvido pelos idealizadores desse sistema. Esse software é disponibilizado para a comunidade através da internet e é denominado Ardupilot MegaPlanner (APM). Além de permitir a programação da rota de voo em tempo real, diretamente no mapa da região, apenas clicando em um ponto do mapa, esse software também permite a visualização dos dados de telemetria do VANT em tempo real ou, após o voo, baixar as informações no *notebook*.

Inicialmente, o VANT foi equipado com um *access point* (AP) de redes WiFi portátil para avaliações de alcance do sinal e possíveis interferências do ambiente. Um *notebook* rodando o programa Netstumbler, que é um programa para realização de leituras e registros de sinais de redes WiFi, foi utilizado em terra com o objetivo de monitorar em tempo real as variações do sinal de rádio do AP embarcado no VANT. Com base nas leituras realizadas, pode-se chegar a conclusão de que o parâmetro de 100 metros de alcance entre os rádios, ou seja, entre os nós, seria aceitável e realista nesse cenário.

Os dados de telemetria, coletados durante os voos, foram utilizados como base para criar a rota do VANT no simulador. Alguns fatores críticos de voo observados durante a experimentação foram:

- Velocidade mínima de voo - A velocidade mínima de voo do VANT utilizado nas experimentações deste trabalho é aquela na qual a aeronave consegue manter o voo sem que haja perda de altitude ou sustentação. Este Parâmetro define o tempo que o VANT estará ao alcance dos nós em terra ou de outro VANT e depende não só das características de voo do VANT mas também de seu peso total.
- Raio de curva - Este parâmetro define o tamanho do círculo percorrido pelo VANT quando estiver realizando a órbita em torno de um ponto de interesse.
- Localização no espaço - Basicamente são as coordenadas X, Y e Z. Em campo pode-se observar que mesmo em situações de voo onde haja a presença de ventos moderados, de 10 a 20km/h medidos com anemômetro no momento do voo, a rota estabelecida no sistema de piloto automático apresenta muito pouco desvio, podendo ser desconsiderada.

Para o cenário de Xerém os mesmos procedimentos foram realizados, no entanto, próximo à região afetada no desastre de janeiro de 2013, foco deste trabalho, existe um campo de aeromodelismo. Isso possibilitou a realização dos voos experimentais em condições muito próximas da realidade do cenário.

## 6.2.2 Configuração do ambiente de simulação e dos parâmetros utilizados

Para o ambiente de simulação foi utilizado o simulador de redes oportunísticas THE ONE. Este simulador foi escrito em Java versão 1.6 e desenvolvido com apoio da Nokia e do laboratório EIT ICT na Finlândia sendo capaz basicamente de:

1. Gerar movimento de nós utilizando diversos modelos de mobilidade inclusive permitindo a importação de dados de mobilidade de traços reais;
2. Rotear mensagens entre nós utilizando vários algoritmos de roteamento de redes oportunísticas;
3. Gerar visualização em tempo real da mobilidade e do encaminhamento de mensagens em uma interface gráfica;
4. Gerar uma grande variedade de relatórios baseado no movimento dos nós, encaminhamento das mensagens e estatísticas gerais.

No simulador THE ONE, foram importados mapas das regiões estudadas no formato WKT. Para cada elemento da simulação foi necessária a criação de um mapa específico que o antedese pois cada grupo de nó possui suas próprias características de mobilidade, como descrito a seguir:

- Nós em terra - Os nós em terra são agrupados em pontos de interesse. Cada agrupamento desse tem seu próprio limite de mobilidade dado pelas estradas da região que não estejam obstruídas. Portanto, para cada ponto de interesse foi criado um mapa composto apenas pelas ruas e estradas onde seria permitido a mobilidade dos nós daquele agrupamento.
- VANTs - Embora os VANTs na simulação sigam um mesmo trajeto, estes podem iniciar seu voo em diferentes pontos do cenário. Outra característica do voo dos VANTs é que alguns estarão voando em sentido horário e outros estarão voando em sentido antihorário. Os mapas criados para os VANTs definem o trajeto percorrido por eles, porém, cada VANT tem sua própria posição inicial de voo.

Para a geração dos mapas foi utilizado o *software* Openjump. Este software permite a importação de mapas reais em uma camada de fundo, facilitando a criação de mapas na ferramenta. Uma peculiaridade, exigida pelo simulador ao trabalhar com mapas importados, é a necessidade de todos os mapas que forem utilizados na simulação estejam conectados entre si, ou seja, o simulador precisa conseguir calcular uma rota a partir de qualquer ponto de qualquer mapa para outro ponto qualquer. O Openjump tem uma função que facilita a identificação e conexão de todos os mapas agilizando o trabalho de criação dos mapas.

Nas simulações os VANTs voam a uma velocidade constante de 36 km/h que é a velocidade mínima na qual um VANT real do tipo que foi construído para os experimentos consegue manter-se em voo constante sem que haja perda de altitude e sem tempo de paradas de acordo com as características de voo do VANT.

Desta forma o número de VANTs foi variado de zero, para que tivéssemos um controle de como a rede se comporta sem o auxílio dos nós móveis, até o valor de seis VANTs.

A partir do momento que temos dois VANTs no cenário, estes partem de posições iniciais distintas de forma que estejam na metade do caminho da trajetória total que devem percorrer no

cenário de simulação. Com três VANTs o mesmo procedimento é adotado porém dividindo-se o percurso total em três partes. Com quatro, cinco e seis VANTs a mesma lógica é estabelecida porém realizando o percurso em caminho inverso.

O deslocamento das equipes ocorre de forma aleatória ao longo das estradas e ruas porém restrito aos caminhos possíveis dentro do ponto de interesse a que estão confinados, com velocidade média entre 0,5 e 1,5 m/s para simular as dificuldades encontradas no deslocamento das equipes em cenários de desastre e tempos de parada entre 30 e 360 segundos simulando buscas mais minuciosas em determinado momento ou o efetivo resgate de algum sobrevivente.

O número de nós representando as equipes ou pessoas nas zonas de interesse foi variado em 12, 20 e 32 e distribuídos entre os pontos de interesse de forma que existisse um número igual de nós em cada um desses pontos do cenário explorado.

O centro de comando manteve-se como único ponto de concentração de mensagens em todas as simulações ocupando uma determinada posição fixa em cada cenário para todas as rodadas realizadas.

As mensagens foram geradas em intervalos de 30 segundos, com tamanho fixo de 200kB, o que pode representar uma troca de mensagens contendo arquivos de texto ou imagens. As mensagens que circulam na rede são geradas de trinta em trinta segundos podendo ser criadas em qualquer nó com destino para qualquer outro nó na rede exceto os VANTs os quais não geram e não recebem mensagens na rede, apenas as encaminham e foram agrupadas da seguinte forma:

- Mensagens geradas de um nó qualquer com destino a outro nó qualquer incluindo o centro de comando;
- Mensagens geradas de um nó qualquer com destino a outro nó qualquer exceto o centro de comando;
- Mensagens geradas de um nó qualquer com destino exclusivamente para o centro de comando.

Com o intuito de constatar que o tamanho e o tempo de geração das mensagens não teria influência nos resultados, foram realizados arranjos de simulação em ambos os cenários onde o tamanho das mensagens foi fixado em 100, 250 e 500kB e da mesma forma com relação ao tempo de geração das mensagens, tempos fixos de 20, 30 e 60 segundos entre mensagens de forma que para cada tamanho de mensagem foram realizadas simulações com cada um dos tempos fixos de geração dessas mensagens. Nestas simulações não foram observadas alterações significativas na performance da rede.

Os protocolos de roteamento para redes DTN escolhidos para análise foram o *Epidemic*, o *Prophet*, o *Spray and Wait* e o *Maxprop*. Esses protocolos foram escolhidos por serem os mais utilizados em redes DTN e em média os mais citados nas referências consultadas como visto

no capítulo 5, sendo que o protocolo *Maxprop* tem características otimizadas para utilização em redes veiculares (BURGESS et al., 2006).

No ambiente de rede foram utilizados enlaces de rádio WiFi configurados para um alcance de 100 metros para todos os nós com uma velocidade de transmissão de 5Mbps.

Foram efetuadas 10 rodadas de simulação para cada protocolo em cada cenário de simulação, com tempo simulado de 7200 segundos para cada rodada, o que representa a autonomia de voo do VANT, e para cada caso, foram coletadas as seguintes medidas: latência média da rede, fração de pacotes entregues e *overhead* de mensagens.

O intervalo de confiança adotado foi de 95% e uma vez que temos menos de 30 amostras, a tabela de referência *t-student* foi utilizada.

- A **latência da rede** é dada pela subtração do tempo atual de simulação (*tas*) pelo tempo de simulação na qual foi criada a mensagem (*tsm*):

$$Lat. = tas - tsm$$

- A **fração de pacotes entregues** (*fpe*) é dada pela razão entre o número de mensagens entregues (*nme*) e o número de mensagens transmitidas (*nmt*):

$$fpe = \frac{nme}{nmt}$$

- O **overhead** é dado pela razão entre a subtração do número de mensagens encaminhadas (*nmr*) e o número de mensagens entregues (*nmd*) pelo número de mensagens entregues (*nmd*):

$$overhead = \frac{nmr - nmd}{nmd}$$

É interessante notar que em um cenário de emergência, o *overhead* de mensagens, ou seja, a quantidade de cópias de mensagens geradas na rede DTN, é uma métrica de menor importância uma vez que é urgente que as mensagens sejam entregues aos seus destinos no menor tempo possível. Entretanto, para fins de entendimento de como fica o desempenho geral dos protocolos estudados na presença de VANTs, o *overhead* foi também analisado.

# 7 Resultados

Neste Capítulo procuramos estudar os resultados obtidos nas simulações com o intuito de avaliar o desempenho de cada protocolo de roteamento estudado. Nos cenários representativos de desastres naturais criados para a cidade de Nova Friburgo e para o distrito de Xerém foram elaborados arranjos de simulação de forma tal que a latência, a fração de pacotes entregues e o *overhead* pudessem ser testados.

Desta forma, buscando avaliar o desempenho da rede, em cada cenário foram variadas a quantidade de nós na rede, em 12, 20 e 32 nós, e a quantidade de VANTs, de 0 a 6. Quanto ao tamanho das mensagens e intervalo de tempo entre uma mensagem e outra para cada combinação de nós e VANTs, inicialmente foram feitos arranjos de simulação onde se variou o tamanho das mensagens em 100, 250 e 500 kB e o intervalo de tempo entre mensagens em 20, 30 e 60 segundos. Essas simulações não apresentaram resultados com diferenças significativas entre si. Por esse motivo o tamanho das mensagens e o intervalo de tempo para a geração de mensagens foram mantidos em 200 kB e 30 segundos, respectivamente. Esses valores podem ser melhor visualizados na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros Utilizados nas simulações.

Parâmetro	Tipo	Valor(es)
Tamanho das mensagens	fixo	200 kB
Intervalo entre mensagens	fixo	30 segundos
Tempo de simulação	fixo	7200 segundos
Tamanho de buffer	fixo	Ilimitado (500 MB)
Número de VANTs	variável	0 a 6
Quantidade de nós	variável	12, 20 e 32

## 7.1 Cenário de Nova Friburgo

Uma característica deste cenário, conforme discutido na seção 6.1.1 são os intervalos menores de desconexão dos nós em terra com os VANTs, pois, devido à distribuição dos pontos de interesse no cenário, além de seu menor número, permitem que os VANTs mantenham contato mais frequente com os grupos de nós em terra que se encontram isolados nessas áreas. Essa característica tende a impactar de forma positiva no desempenho geral da rede.

### 7.1.1 Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó

Conforme pode ser visto na Figura 8, a fração de pacotes entregues quando não existem VANTs no cenário fica prejudicada, embora não chegue a ser zero se comparada com a fração de pacotes entregues quando introduzimos ao menos um VANT no cenário. Isso se justifica pelas características de geração de mensagens, que nesse caso são geradas com destino a qualquer nó. Uma vez que os nós presentes em áreas isoladas distintas dependem exclusivamente do VANT para comunicarem entre si e com o centro de comando, apenas as mensagens geradas entre nós de uma mesma área isolada podem ser entregues.

A partir da utilização de ao menos um VANT no cenário, a fração de pacotes entregues passa a ser praticamente de cem por cento para todos os protocolos, independente do número de nós no cenário. No entanto, observando-se as Figuras 8b e 8c, o protocolo *Spray and Wait* tem sua fração de pacotes entregues diminuída conforme aumenta o número de nós.

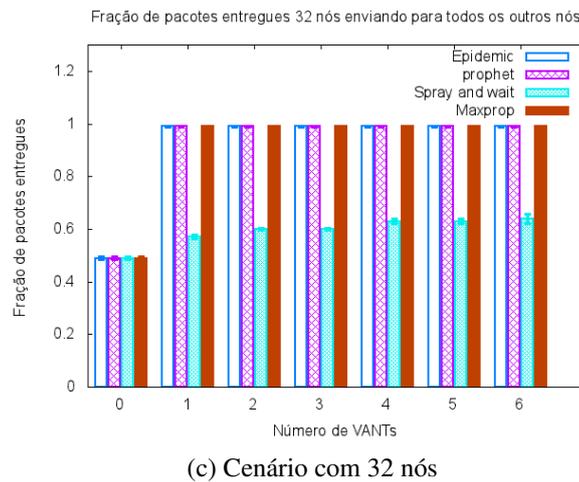
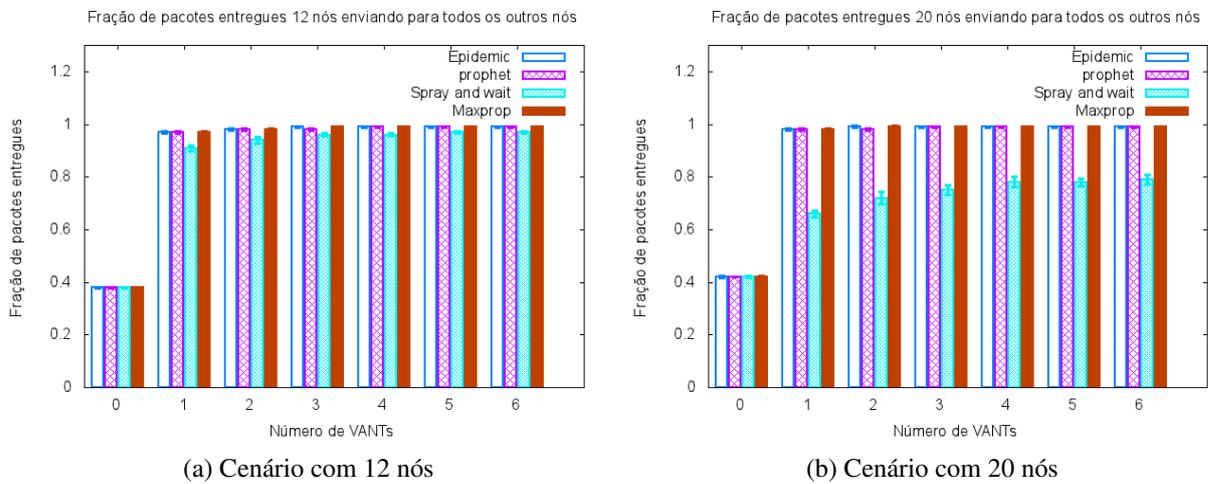
Esse comportamento pode ser explicado pelas características de funcionamento deste protocolo, conforme visto na seção 3.4, que limita o número de cópias de mensagens na rede em seis (que foi o parâmetro usado em nossas análises) com o intuito de diminuir o *overhead* (Figura 9). Dessa forma, com o aumento da quantidade de mensagens a serem encaminhadas sem que, no entanto, haja um aumento do número de mensagens simultâneas na rede, acaba por limitar a taxa de sucesso de entrega de mensagens para esse protocolo.

Justamente devido a característica do protocolo *Spray and Wait* de limitar o número de cópias de mensagens na rede, este protocolo obteve os menores valores de *overhead* em comparação com os outros três protocolos, seguido pelos protocolos *Prophet* e *Epidemic*, também com baixos valores de *overhead*, como pode ser visto na Figura 9.

O protocolo *Maxprop* obteve o pior resultado com o maior valor de *overhead*, o que fica bastante evidente na Figura 9c. Esse resultado explica-se pelo fato deste protocolo manter um parâmetro de fração de pacotes entregues armazenado em cada nó da rede e esse parâmetro ser atualizado em toda a rede, conforme os encontros entre os nós vão ocorrendo. No cenário de Nova Friburgo, onde os nós encontram-se mais próximos e agrupados, essa atualização ocorre de forma mais frequente.

Mesmo com um *overhead* muito maior do que o dos outros protocolos, o *Maxprop* obteve um dos menores valores de latência juntamente com o protocolo *Epidemic* em todas as simulações, independente do número total de nós no cenário, e diminuindo sensível e continuamente de acordo com o aumento do número de VANTs, conforme pode-se observar na Figura 10. O protocolo *Prophet* apresentou um dos piores resultados de latência, tendo performance ligeiramente superior ao protocolo *Spray and Wait* em determinadas condições no cenário. Notadamente, um menor desempenho do *Spray and Wait* é verificado com o aumento do número de nós na rede, e também dos VANTs (Figura 10c) disputando as seis cópias de mensagem que este protocolo disponibiliza na rede. Esse comportamento confirma o que foi comentado anteriormente sobre a fração de pacotes entregues do *Spray and Wait*.

Figura 8 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós - cenário de Friburgo.

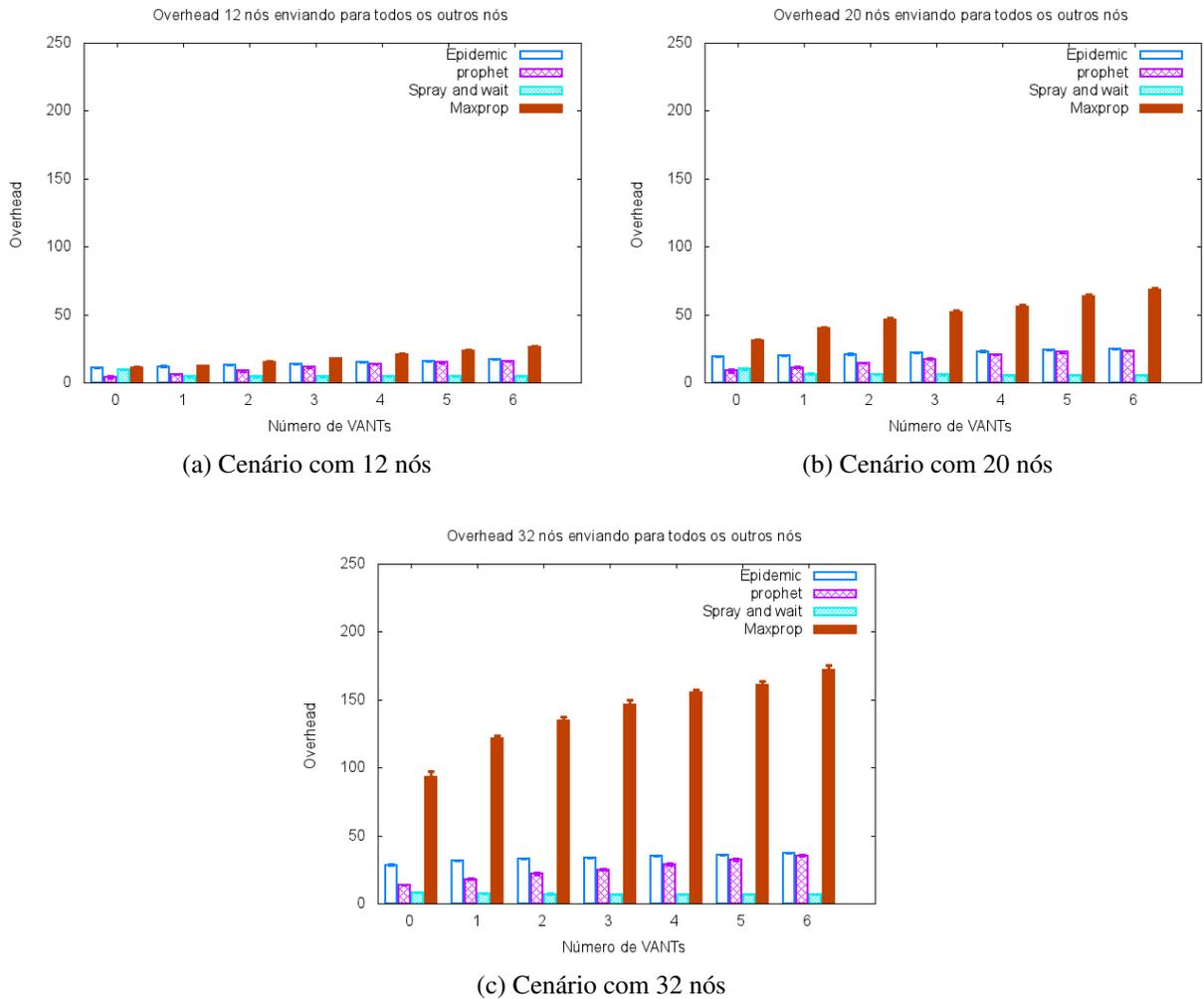


### 7.1.2 Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó exceto o centro de comando

Pode-se observar na Figura 11 que a fração de pacotes entregues quando estes não são encaminhadas ao centro de comando (CC), e nem gerados por este com destino a qualquer outro nó na rede, não tem alteração significativa se comparada com os valores obtidos na seção 7.1.1. Isso ocorre pois o centro de comando é um único nó e, ao retirarmos ele da rede, a grande maioria dos nós da rede continuam comunicando-se entre si.

Ainda em comparação com 7.1.1, uma vez que os nós são distribuídos de forma igualitária entre os pontos de interesse, conforme especificado no início deste capítulo, a fração de pacotes entregues tende a cinquenta por cento quando não existem VANTs auxiliando na entrega de mensagens entre os pontos de interesse, e tende a cem por cento tão logo ao menos um VANT seja inserido no cenário. Isto ocorre mesmo com a ausência do centro de comando na troca de mensagens.

Figura 9 – Gráficos de *overhead* - mensagens para todos os nós - cenário de Friburgo.

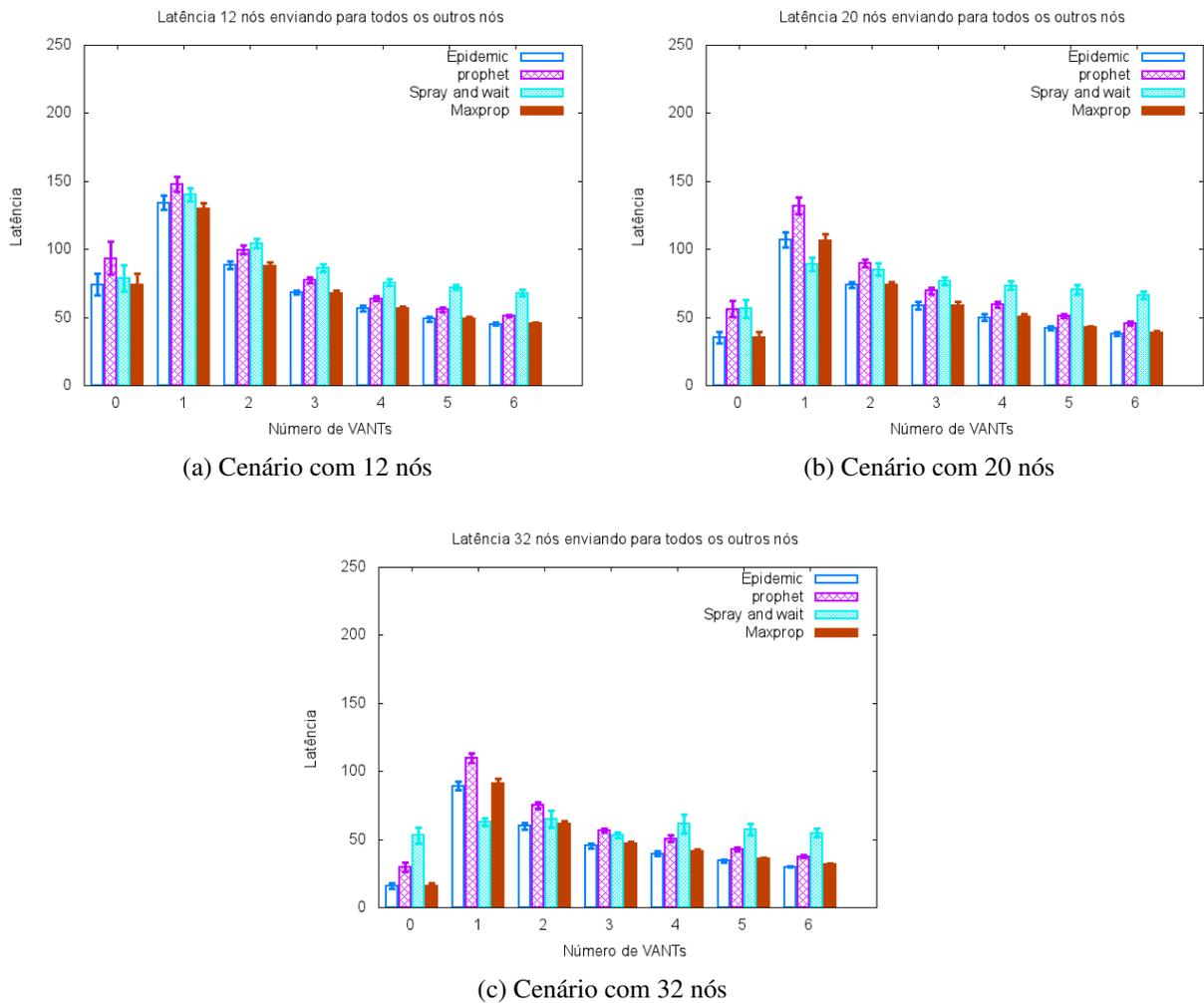


Pelos mesmos motivos anteriormente descritos relativo à fração de pacotes entregues, o *overhead* e a latência (Figuras 12 e 13) também não apresentam diferenças significativas se comparados os valores apresentados em 7.1.1.

Por não existirem diferenças significativas entre os dois estudos, um fenômeno que ocorre nos dois pode ser observado com relação à latência. Quando não temos VANTs auxiliando na troca de mensagens, a latência tende a ser muito menor do que quando introduzimos um VANT no cenário. Conforme o número de VANTs aumenta, a latência vai sendo reduzida. Acompanhando a Figura 13 podemos observar isso, comparando os valores de latência para zero a seis VANTs.

Esse valor menor de latência, quando não existem VANTs na rede, pode ser explicado pela forma como é calculada esta métrica. A latência é dada pela razão entre o número total de mensagens entregues e o tempo médio de entrega de mensagens na rede. Como apenas as mensagens entregues são consideradas no cálculo, e uma vez que apenas mensagens com destino aos nós dentro do próprio ponto de interesse podem ser entregues sem o auxílio do VANT, e sendo que os nós estão mais próximos uns dos outros dentro de um mesmo ponto de interesse

Figura 10 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós - cenário de Friburgo.



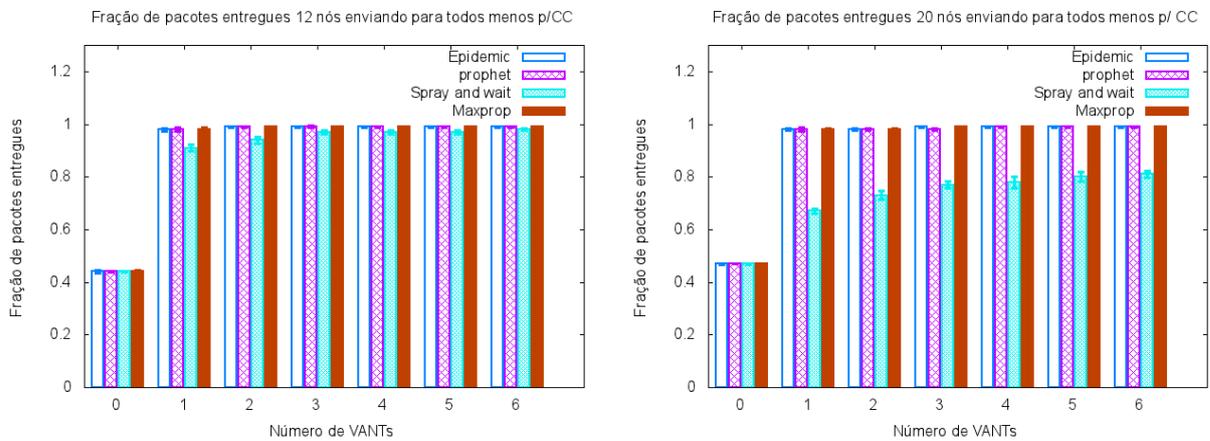
do que nós em diferentes pontos de interesse, é correto afirmarmos que a latência tenderá a ser maior ao introduzirmos um VANT no cenário quando comparada com o mesmo cenário sem VANTs. Isto se dá em virtude do aumento de mensagens efetivamente entregues pelo VANT, o que diminuirá de acordo o aumento de VANTs na rede.

### 7.1.3 Mensagens geradas de qualquer nó com destino somente ao centro de comando e deste para qualquer outro nó

Neste caso, uma vez que as mensagens são enviadas exclusivamente de/para o centro de comando, e que o encaminhamento destas mensagens depende exclusivamente dos VANTs, todas as métricas aqui estudadas tendem a ser zero quando não temos VANTs na rede, como podemos observar nas Figuras 14, 15 e 16.

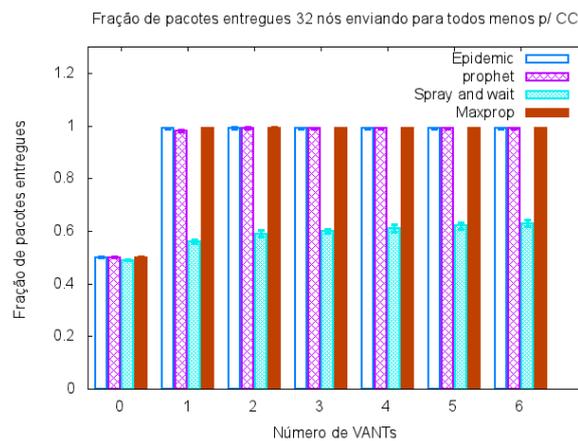
De uma forma geral, ao introduzirmos VANTs na rede os valores de fração de pacotes entregues e *overhead* apresentam-se bastante próximos dos valores anteriormente apresentados em 7.1.1 e 7.1.2, embora o protocolo *Spray and Wait* tenha sua performance muito mais prejudi-

Figura 11 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Friburgo.



(a) Cenário com 12 nós

(b) Cenário com 20 nós

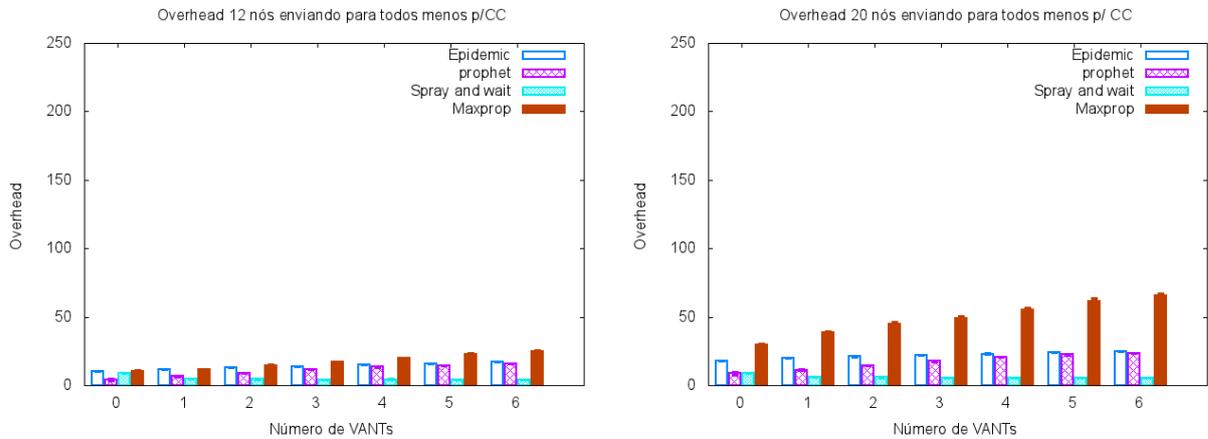


(c) Cenário com 32 nós

cada com o aumento do número de nós no cenário do que nas situações anteriores. Conforme mencionado em 7.1.1, esse protocolo limita o número de mensagens na rede com o intuito de diminuir seu *overhead*, porém, com essa limitação, algumas das poucas cópias da mensagem podem ser entregues para encaminhamento a um nó qualquer que jamais terá contato com o destinatário da mensagem. Nessa situação, este seria o centro de comando, o qual só pode ser alcançado pelos VANTs. Isto gera uma latência maior, pois poucos nós poderiam estar aptos a entregar a mensagem ao destinatário, ou, em uma situação mais extrema, uma perda elevada na fração de pacotes entregues, como pode ser observada na Figura 15c.

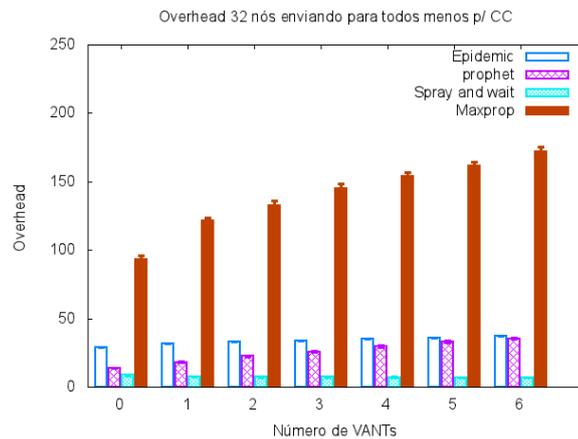
Devido ao fato de somente os VANTs efetuarem a entrega de mensagens e destes precisarem percorrer todo o cenário para entregar ou coletar mensagens junto ao centro de comando, os valores de latência (Figura 16) são um pouco mais elevados. Entretanto, o protocolo *Prophet* apresenta valores menores dos que os valores apresentados em 7.1.1 e 7.1.2, chegando a ter valores muito próximos dos apresentados pelos protocolos *Epidemic* e *Maxprop*, os quais tem os menores valores de latência em todos os gráficos desse cenário.

Figura 12 – Gráficos de *overhead* - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Fri-burgo.



(a) Cenário com 12 nós

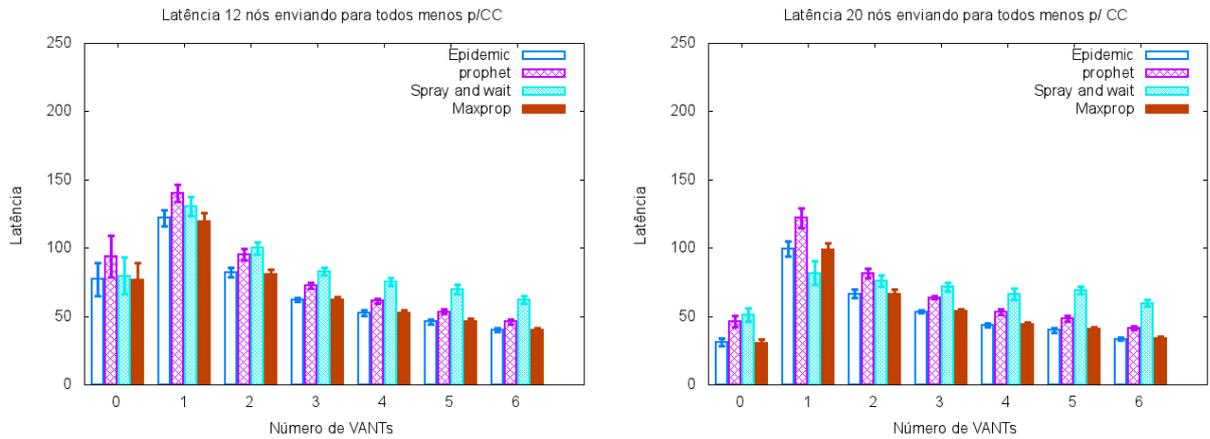
(b) Cenário com 20 nós



(c) Cenário com 32 nós

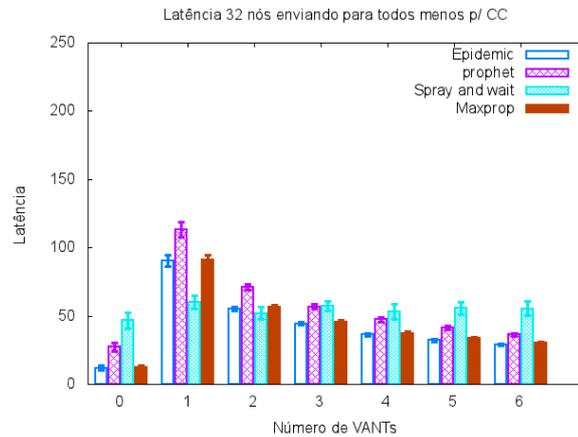
A menor latência aliada ao menor *overhead* faz com que o *Prophet* tenha a melhor performance geral nesta situação específica. Essa sensível melhora na performance do protocolo *Prophet* deve-se ao fato de que, conforme discutido na seção 3.4, este protocolo possui uma métrica que calcula a probabilidade do encontro entre dois nós e, como os VANTs são os únicos que se encontram constantemente com o centro de comando, esses recebem um valor mais favorável nesta métrica e, portanto, passam a ser os nós preferidos de encaminhamento das mensagens, muito rapidamente diminuindo o tempo de entrega das mensagens no processo.

Figura 13 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Friburgo.



(a) Cenário com 12 nós

(b) Cenário com 20 nós



(c) Cenário com 32 nós

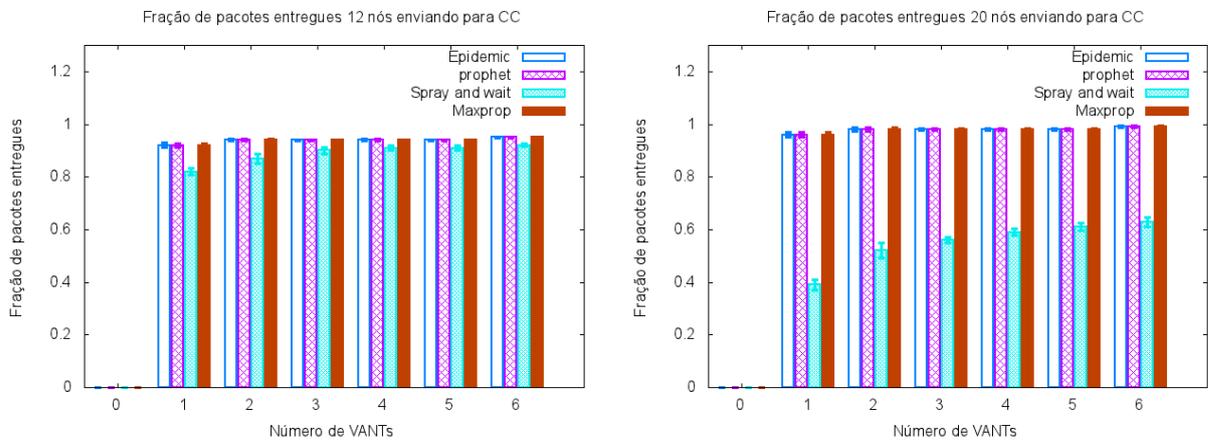
## 7.2 Cenário Xerém

Este cenário apresenta-se de forma um pouco mais esparsa se comparado ao cenário anterior, conforme apresentado na seção 6.1.2, contando com quatro pontos de interesse e os VANTs percorrendo estes pontos de forma cíclica em uma trajetória basicamente circular. Em virtude disso, conforme iremos observar nos dados coletados neste cenário e apresentados abaixo, temos valores mais elevados de latência se compararmos com os dados de cenário de Nova Friburgo.

### 7.2.1 Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó

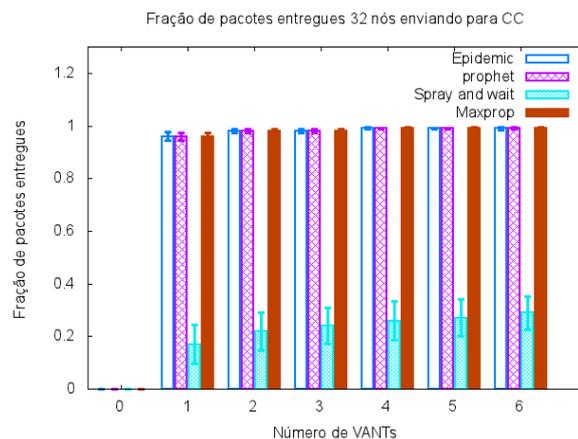
Conforme pode ser visto na Figura 17, à semelhança do que ocorre no cenário de Nova Friburgo e citado na seção 7.1.1, a fração de pacotes entregues quando não existem VANTs no cenário cai drasticamente quando não temos VANTs na rede e apresenta valores bem próximos dos obtidos

Figura 14 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Friburgo.



(a) Cenário com 12 nós

(b) Cenário com 20 nós



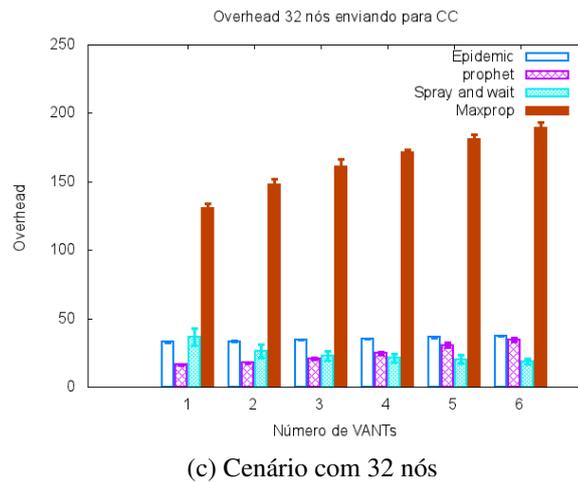
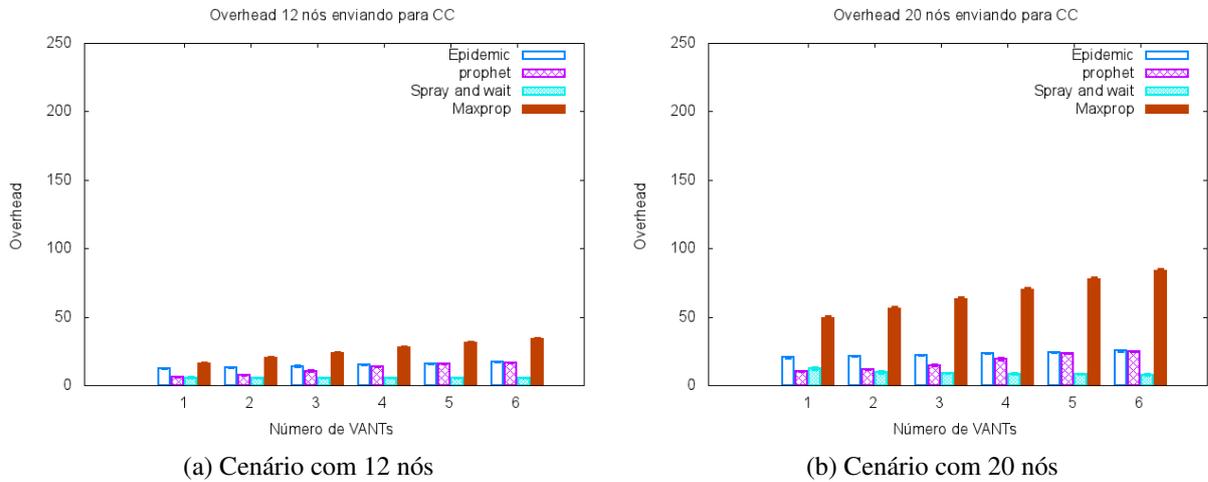
(c) Cenário com 32 nós

naquele cenário, inclusive com comportamento bastante semelhante para todos os protocolos. A maior diferença aqui, da fração de pacotes entregues quando não existem VANTs, deve-se ao fato de contarmos com um maior número de pontos de interesse. Desta forma, como os pontos de interesse dependem do VANTs para a entrega de mensagens entre eles, uma maior quantidade de mensagens deixa de ser entregue.

Ocorre novamente neste cenário que o *overhead* do protocolo *Maxprop* apresenta-se muito maior do que o de qualquer outro protocolo, embora ainda obtenha um dos menores valores de latência independente do número total de nós no cenário, e diminuindo continuamente de acordo com o aumento do número de VANTs, conforme pode-se observar na Figura 19. Por outro lado, os protocolos *Prophet* e *Spray and Wait* apresentam os piores resultados de latência, inclusive se comparados ao protocolo *Epidemic*, como já foi observado no cenário de Nova Friburgo.

A natureza mais esparsa deste cenário fica bastante visível ao analisarmos a Figura 19 e constataremos os grandes valores de latência, mesmo quando não temos VANTs na rede. Da

Figura 15 – Gráficos de *overhead* - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Friburgo.

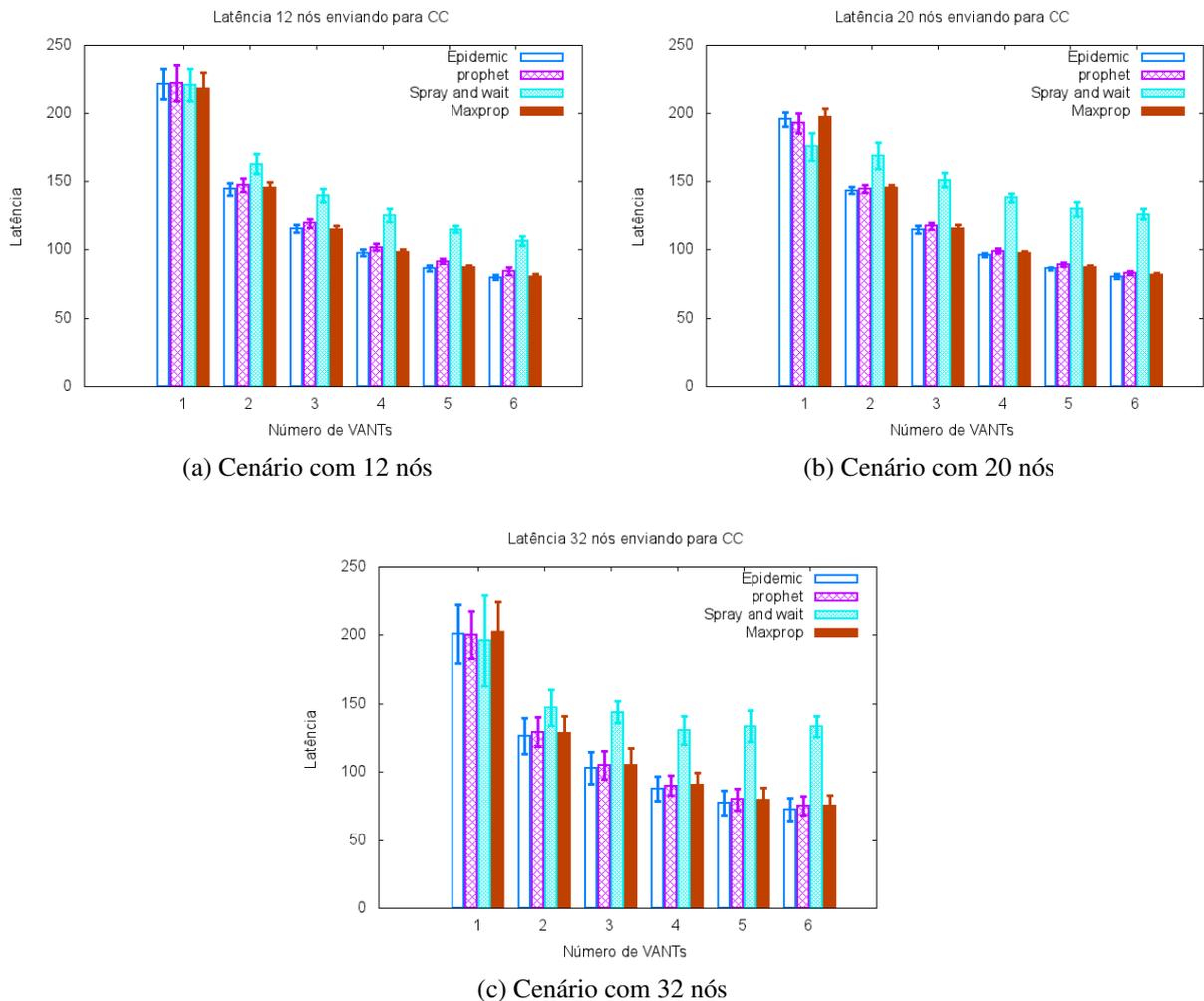


mesma forma, porém em sentido contrário, o *overhead* da rede reduz sensivelmente pelo mesmo motivo, pois existem menos nós em cada ponto de interesse e, portanto, menos mensagens de encaminhamento são colocadas na rede por cada nó em cada ponto de interesse.

### 7.2.2 Mensagens geradas de qualquer nó com destino a qualquer outro nó exceto o centro de comando

Excluindo-se o centro de comando como nó da rede, sem entretanto alterar a rota de voo dos VANTs, não observamos maiores alterações no comportamento dos protocolos e da rede com relação às métricas estudadas quando comparados com os dados apresentados e discutidos na seção 7.2.1, conforme podemos observar nas Figuras 20, 21 e 22. Ou seja, pela natureza esparsa do cenário de Xerém, tem-se uma maior latência e um menor overhead, com os protocolos *prophet* e *Spray and Wait* apresentando as piores performances, com o agravante do *Spray and Wait* ter sua fração de pacotes entregues diminuída com o aumento de nós na rede.

Figura 16 – Gráficos de latência - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Friburgo.

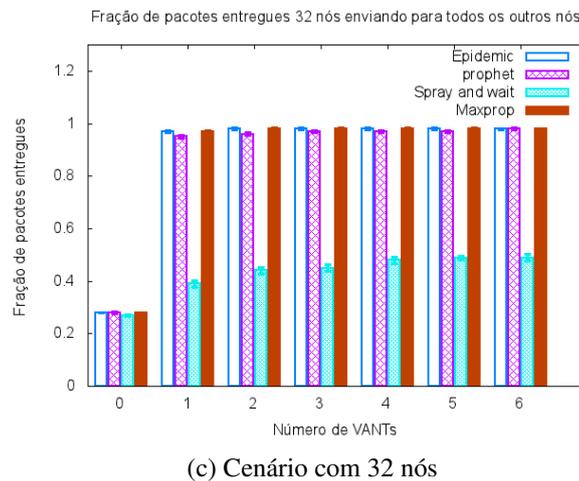
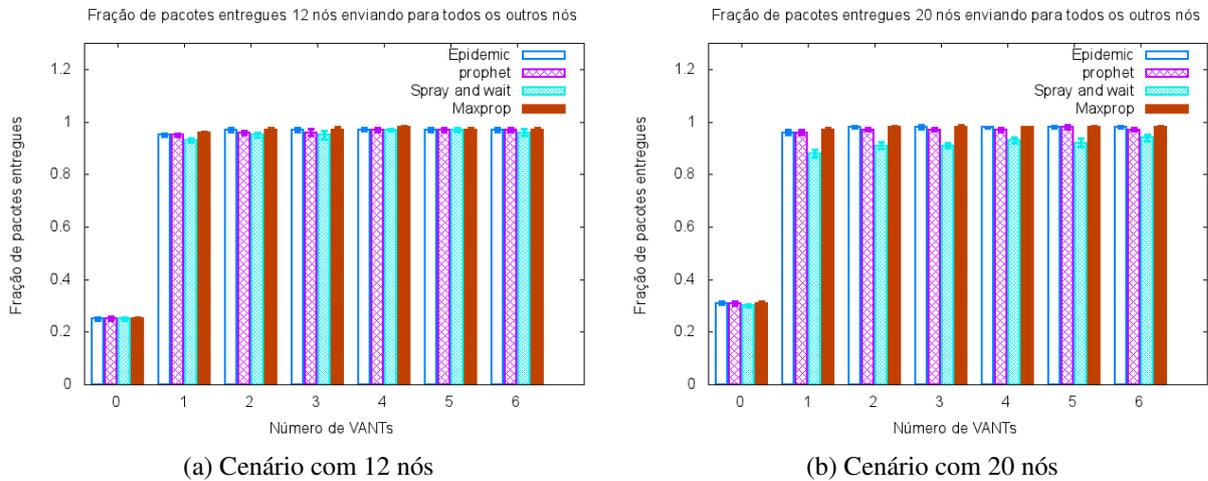


### 7.2.3 Mensagens geradas de qualquer nó com destino somente ao centro de comando e deste para qualquer outro nó

Limitando-se as mensagens para que sejam enviadas e recebidas somente pelo centro de comando, observamos pela Figura 23 o quanto a limitação do número de mensagens na rede imposta pelo modo de funcionamento do protocolo *Spray and Wait* impacta em sua performance. Com o aumento do número de nós na rede que não conseguem atingir o nó de destino para a entrega de mensagens, diminui-se em muito a fração de pacotes entregues deste protocolo.

O *overhead*, conforme mostrado na Figura 24, mantém-se coerente com os resultados apresentados anteriormente para o cenário de Xerém, porém a latência do protocolo *Spray and Wait* para o cenário com maior concentração de nós tende a ser muito próxima da latência dos outros protocolos. Isto está em contradição com todos os resultados anteriores deste cenário. Uma explicação para esse fenômeno é que, como o cálculo de latência leva em consideração apenas as mensagens efetivamente entregues e, como observado na Figura 23c, as mensagens entre-

Figura 17 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós - cenário de Xerém.



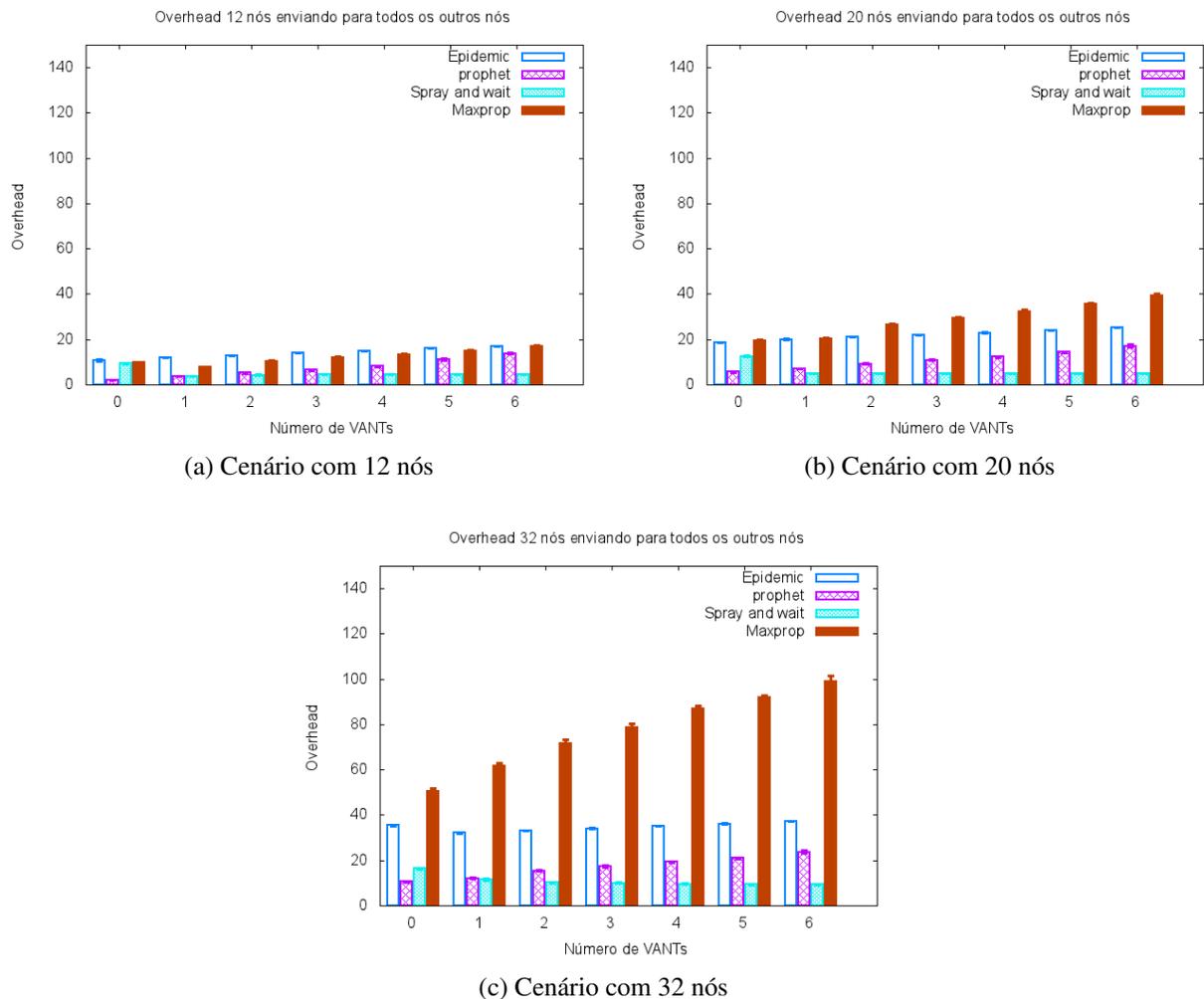
gues por esse protocolo na situação de muitos nós cai bastante, a latência também é bastante reduzida.

### 7.3 Análise geral

Como pudemos observar pela análise dos resultados dos cenários propostos de Nova Friburgo e de Xerém, embora cada um deles tenha suas peculiaridades, de uma forma geral os protocolos estudados mantiveram seus resultados similares nos dois cenários, embora com valores distintos porém coerentes com as características de cada cenário.

No computo geral, os protocolos *Maxprop* e *Epidemic* obtiveram as menores latências, o que os tornariam os favoritos para entregas mais rápidas das mensagens. No entanto, o fazem ao custo de um maior *overhead*, o que pode representar um maior consumo de energia dos nós para transmitir e receber informações de controle. Em um cenário de emergência onde as mensagens têm urgência para serem entregues, um eventual aumento no consumo de energia

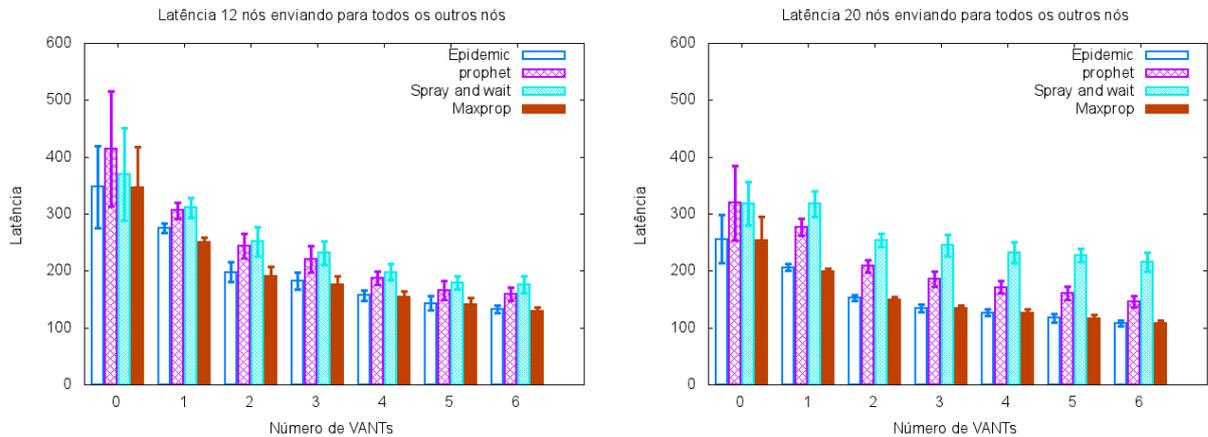
Figura 18 – Gráficos de *overhead* - mensagens para todos os nós - cenário de Xerém.



com vistas a manter um menor tempo de entrega talvez possa ser suportado pelos nós. Neste caso, o protocolo *Maxprop* pode ser o mais indicado devido a sua latência sensivelmente inferior à do protocolo *Epidemic*. Uma vez que essa diferença de valores de latência entre esses dois protocolos é bastante sutil, o protocolo *Epidemic* também pode ser empregado, com a vantagem de ter um *overhead* bastante inferior ao do protocolo *Maxprop*. Sobre esse aspecto, o protocolo *Prophet* apresenta um *overhead* mais baixo, perdendo apenas para o *Spray and Wait*, sem no entanto sofrer com a enorme latência deste protocolo.

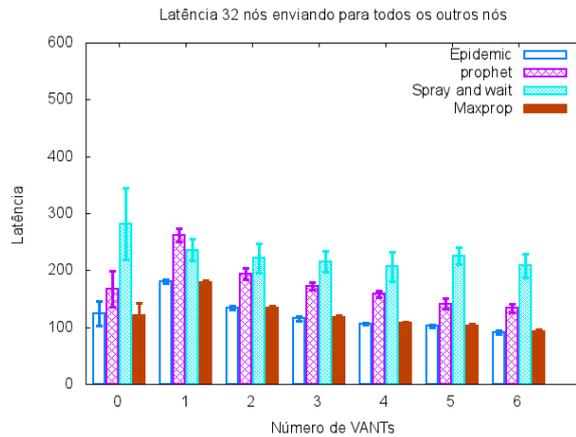
A enorme latência apresentada pelo protocolo *Spray and Wait*, como já explicado anteriormente, deve-se à limitação de cópias para uma mesma mensagem na rede, o que acaba por limitar a atuação dos VANTs. Embora este protocolo possua uma métrica com a probabilidade de encontro entre dois nós quaisquer, esta métrica não leva em consideração se o nó tem ou não uma maior mobilidade. Sendo assim, excetuando-se nas situações em que apenas o centro de comando é o receptor e transmissor exclusivo de mensagens na rede, qualquer outro nó pode vir a ganhar o mesmo valor de métrica de um VANT e, com isso, não se entregar a mensagem para um VANT.

Figura 19 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós - cenário de Xerém.



(a) Cenário com nós

(b) Cenário com 20 nós



(c) Cenário com 32 nós

A latência do *Prophet* aproxima-se bastante das baixas latências apresentadas pelos protocolos *Maxprop* e *Epidemic*, chegando mesmo a ser menor do que a latência desses protocolos quando as mensagens são encaminhadas somente para o centro de comando. Este protocolo tem a vantagem de utilizar métricas para tentar definir a probabilidade de haver o encontro entre dois nós quaisquer. Desta forma, como os VANTs têm uma maior mobilidade e, em algumas situações, são os únicos que se encontram frequentemente com determinados nós, principalmente quando as mensagens são enviadas exclusivamente para o centro de comando, eles são escolhidos mais frequentemente como nós de encaminhamento das mensagens. Entretanto, sem o eficiente mecanismo de controle de cópias de mensagens na rede do *Spray and Wait*, o *overhead* do protocolo *Prophet* tende a ser mais elevado do que o *overhead* do *Spray and Wait*, mas ainda assim bem inferior ao dos protocolos *Maxprop* e *Epidemic*.

Figura 20 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Xerém.

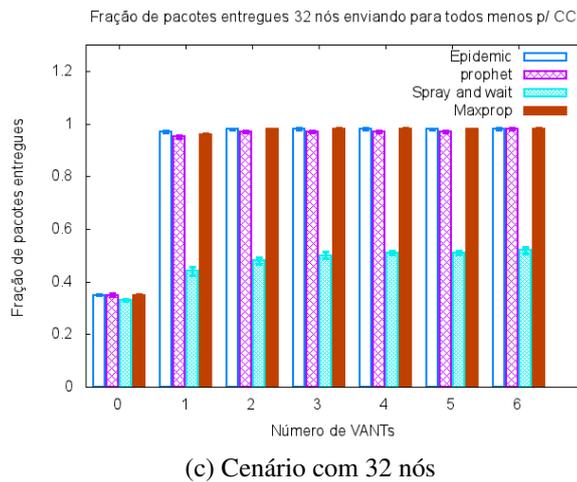
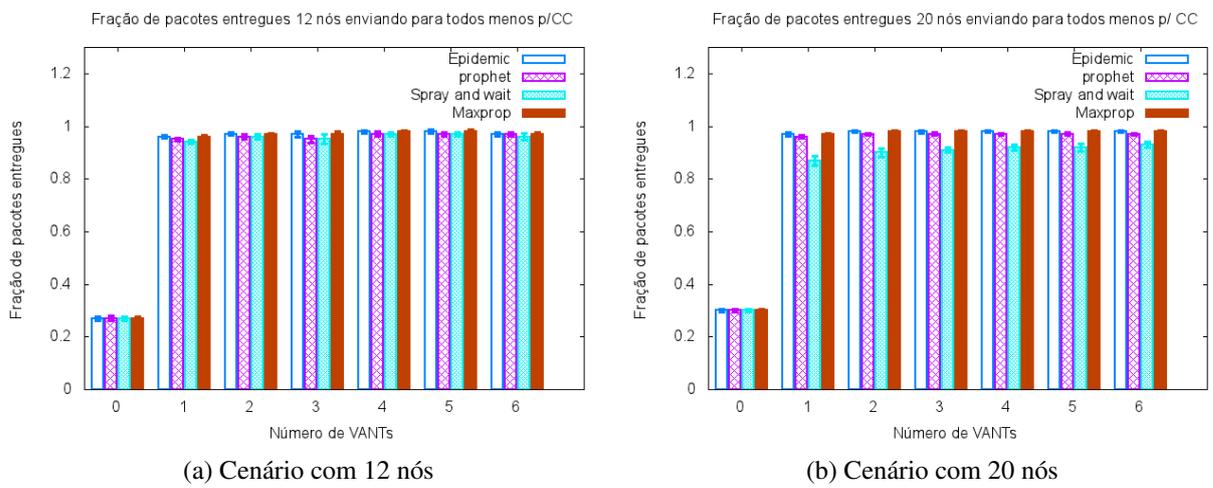


Figura 21 – Gráficos de *overhead* - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Xerém.

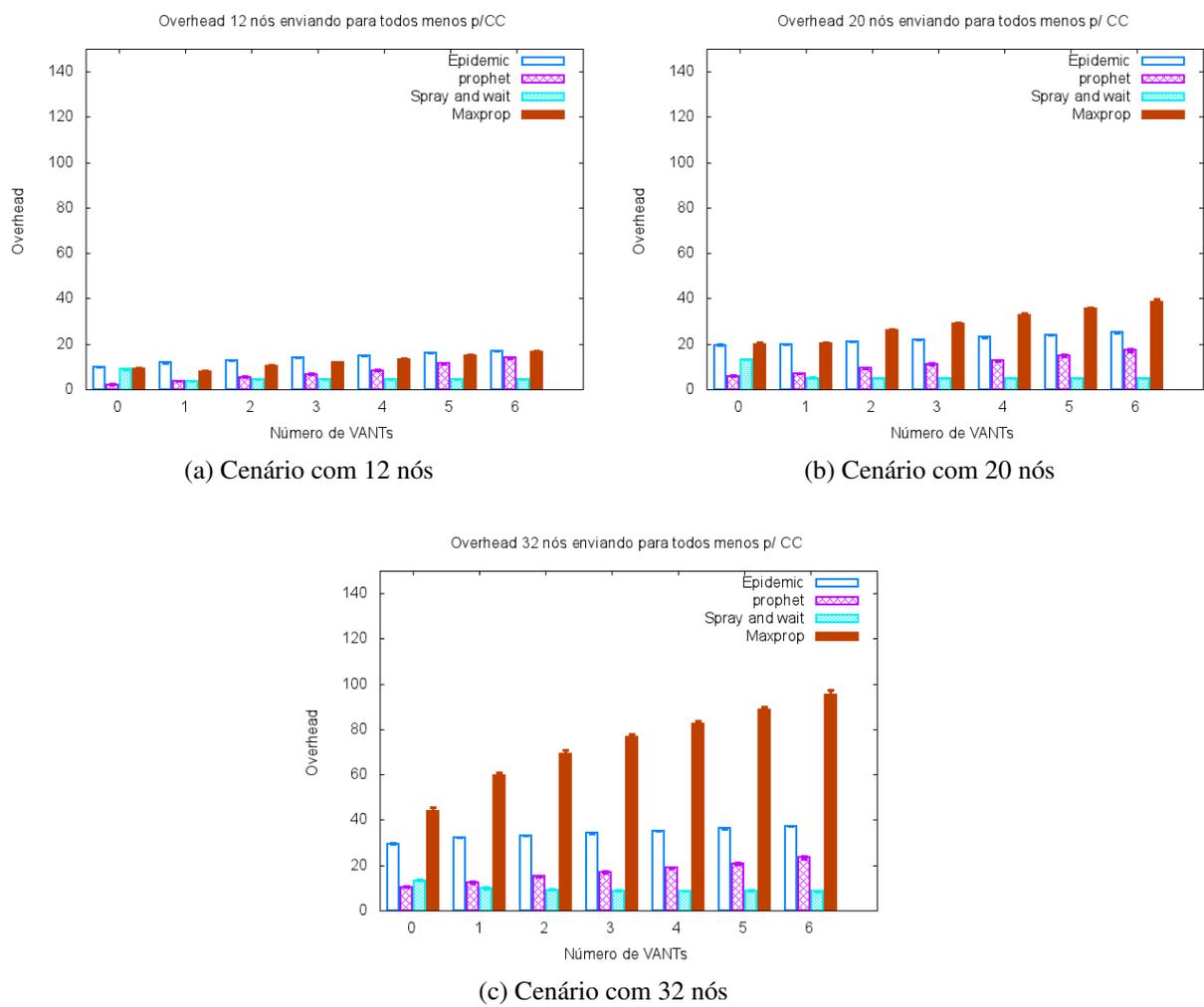
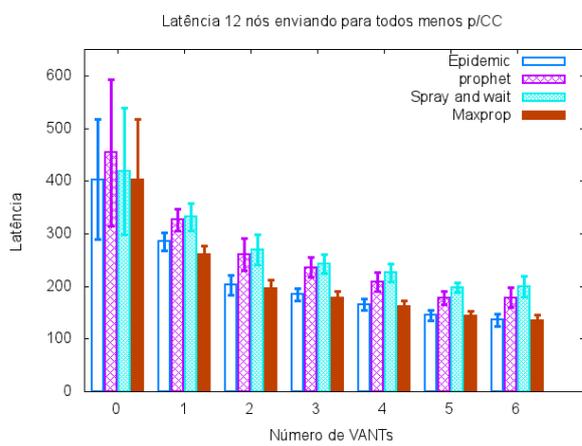
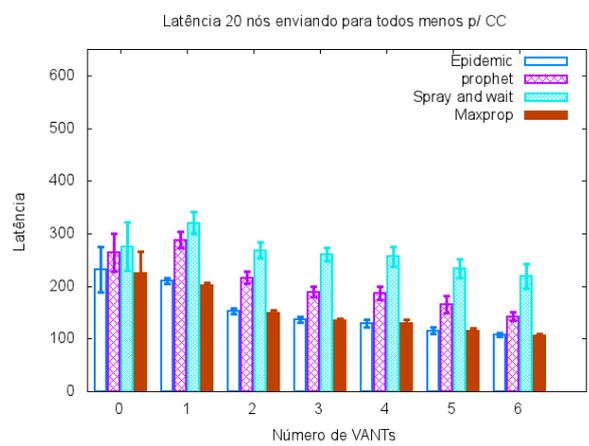


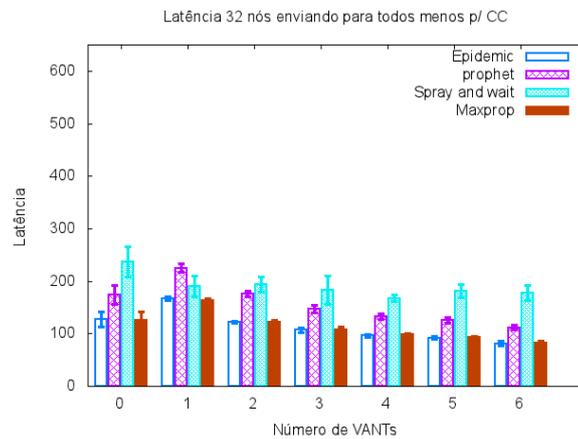
Figura 22 – Gráficos de latência - mensagens para todos os nós exceto CC - cenário de Xerém.



(a) Cenário com 12 nós

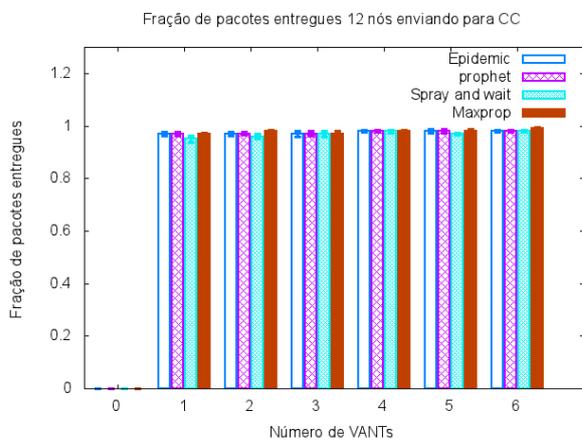


(b) Cenário com 20 nós

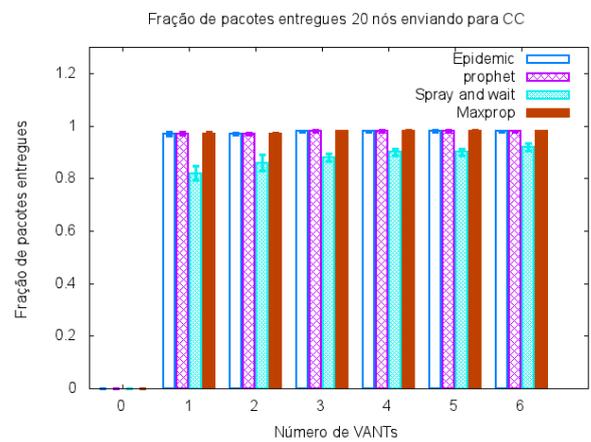


(c) Cenário com 32 nós

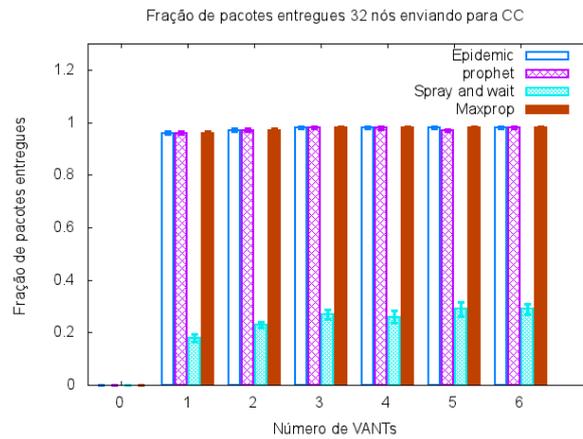
Figura 23 – Gráficos de fração de pacotes entregues - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Xerém.



(a) Cenário com 12 nós



(b) Cenário com 20 nós



(c) Cenário com 32 nós

Figura 24 – Gráficos de *overhead* - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Xerém.

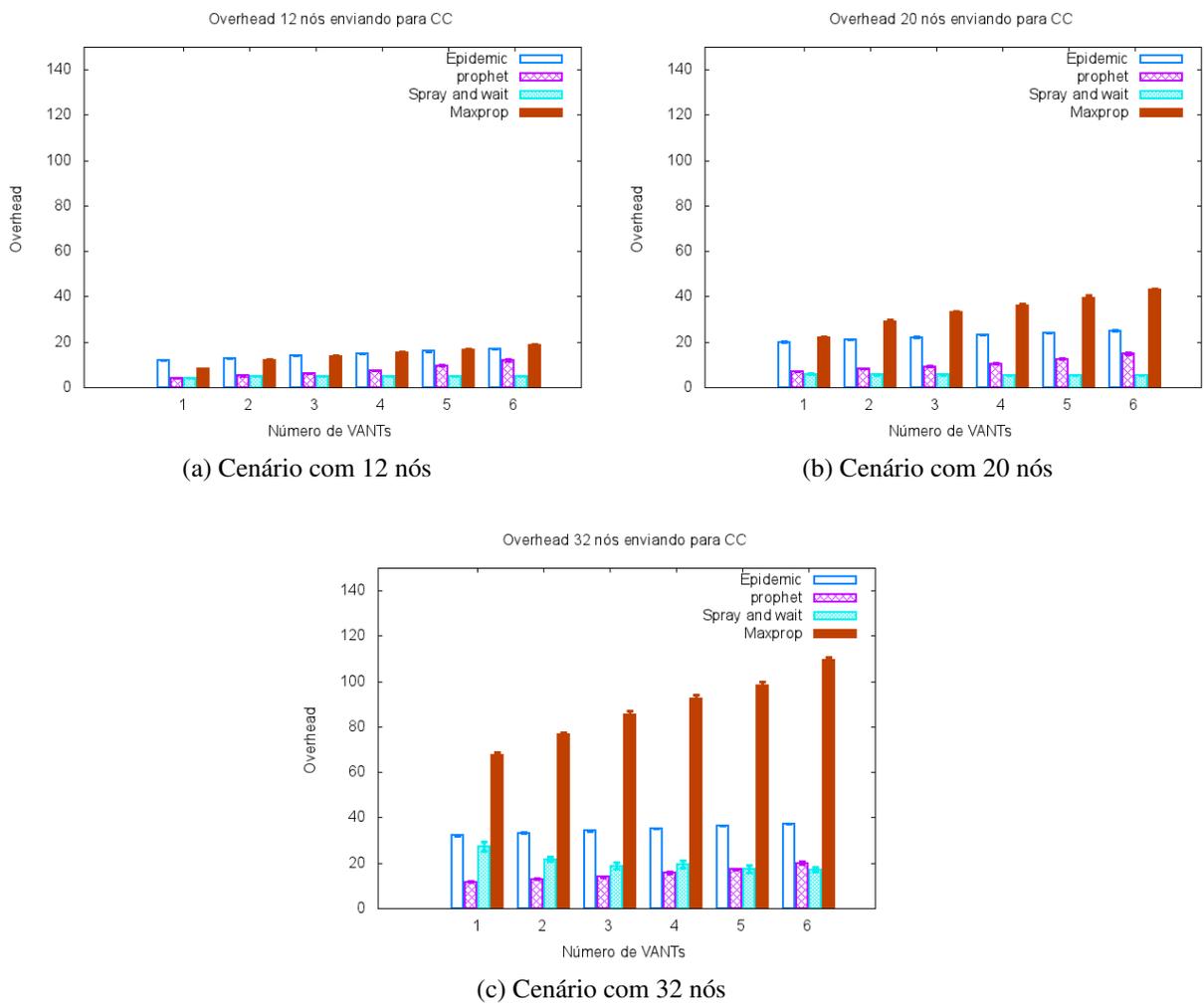
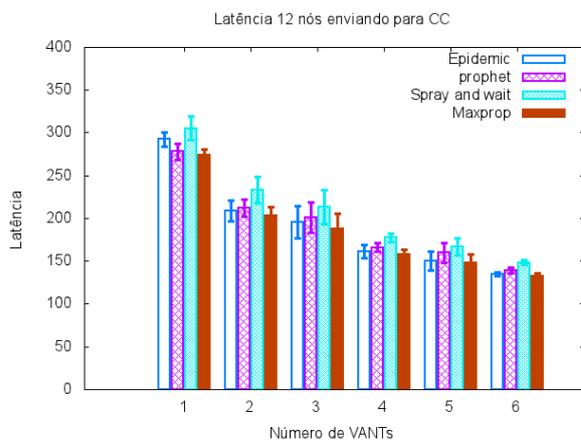
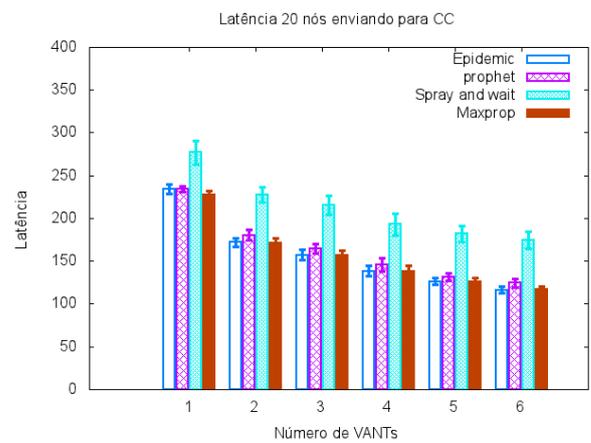


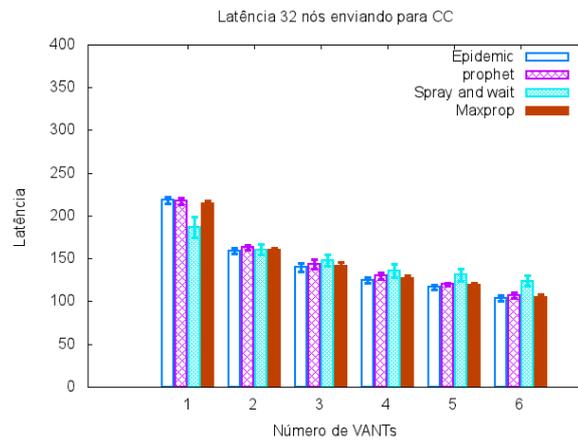
Figura 25 – Gráficos de latência - mensagens somente para CC e deste para qualquer outro nó - cenário de Xerém.



(a) Cenário com 12 nós



(b) Cenário com 20 nós



(c) Cenário com 32 nós

## 8 Conclusão

Em cenários de desastre, principalmente aqueles causados por intempéries como a que atingiu o Estado do Rio de Janeiro no mês de Janeiro de 2011, é comum situações onde as equipes de busca e resgate perdem a comunicação entre si e com o Centro de Comando. Essa comunicação é de suma importância para o sucesso das missões e as falhas que ocorrem nestes cenários, geralmente, são decorrente de obstáculos relacionados ao relevo dos locais de desastre ou trazidos pelas enchentes.

Em outras situações, como a enfrentada no distrito de Xerém, a própria enchente pode ser o obstáculo a ser transposto, com ruas transformando-se em rios e impossibilitando sobremaneira o deslocamento entre uma região e outra. Em emergências desse tipo, onde a busca por vítimas e o respectivo salvamento deve ocorrer da forma mais imediata possível, espera-se que as informações trafeguem de forma rápida e com o mínimo possível de perdas.

Como pudemos verificar no capítulo 3, as redes sem fio de uma forma geral podem oferecer conectividade nesses cenários de forma rápida. Porém, um problema que pode ocorrer, são as desconexões frequentes e imprevisíveis dos nós. Nesse caso, as redes DTN, devido às suas características, podem ser a abordagem de rede mais adequada a ser empregada. Essas redes necessitam de protocolos específicos que consigam tratar de forma adequada as desconexões e a consequente falta de conectividade. Por isso, diversos protocolos de roteamento para redes DTN foram desenvolvidos sendo alguns dos protocolos mais usuais o *Epidemic*, o *Prophet*, o *Spray and Wait* e o *Maxprop*. Portanto, esses foram os protocolos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

Para tentar garantir um melhor desempenho das redes DTN em um cenário de emergência o qual, devido à sua dinâmica, pode sofrer constantes mudanças inclusive com locais que antes podiam estar acessíveis e em pouco tempo passarem a estar completamente isolados, adotamos a abordagem de utilizar VANTs como nós móveis dessa rede DTN., além disso, os VANTs podem servir ainda de auxiliares também nas atividades de:

- Busca e resgate, auxiliando as equipes a localizar sobreviventes em locais remotos e de difícil acesso;
- Na avaliação preliminar de danos, obtendo imagens das áreas afetadas e enviando para o centro de controle;
- No apoio logístico, auxiliando na identificação de rotas viáveis em face de interdições causadas pelo desastre.

Os VANTs podem ser de vários tamanhos e possuem sistemas de propulsão também bastante diversificados. Em um cenário de emergência, alguns dos principais requisitos para a

escolha de um VANT em particular são sua autonomia, simplicidade de operação e robustez. Levando-se em consideração esses fatores, escolhemos um VANT do tipo asa voadora para o desenvolvimento do protótipo para que fossem realizadas coletas de traços de mobilidade realísticos para posterior utilização no simulador THE ONE.

Para essa simulação, dois cenários representativos de desastres naturais foram criados, tomando-se como base as tragédias ocorridas na cidade de Nova Friburgo e no distrito de Xerém no município de Duque de Caxias.

Conforme os dados apresentados no presente trabalho, as redes DTN contando com VANTs para auxílio na entrega de dados podem ser um valioso instrumento de apoio às comunicações entre as equipes de busca/resgate e o centro de comando.

Na experimentação realizada com o VANT obtivemos como contribuição:

- Traços realísticos do padrão de movimento do VANT tipo asa;
- Limitações no uso de GPS em regiões de serra;
- A necessidade de mecanismos de recuperação de falhas de sensores;
- Limitações dos sistemas de rádio controle convencionais para esse tipo de aplicação

Para utilização em cenários de emergência, uma rede deve ser capaz de entregar as mensagens o mais rapidamente possível, ou seja, apresentar a menor latência. Desta forma, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, em um cenário de emergência com as características dos cenários aqui investigados, uma rede com *buffer* tendendo ao infinito para que não haja a perda de mensagens, os protocolos *Epidemic* e *maxprop* são os mais indicados. Conforme pudemos analisar no capítulo 7, tanto os resultados obtidos na seção 7.1 quanto os obtidos na seção 7.2 e sumarizados na tabela 4, mostram claramente que esse dois protocolos tem as maiores frações de pacotes entregues e as menores taxas de latência.

Tabela 4 – Tabela comparativa de resultado dos protocolos.

1-Ruim, 2-Bom, 3-Ótimo	Fração de pacotes entregues	<i>Overhead</i>	Latência	total
<i>Epidemic</i>	3	2	3	8
<i>Maxprop</i>	3	1	3	7
<i>Prophet</i>	3	2	1	6
<i>Spray and Wait</i>	1	3	1	5

## 8.1 Trabalhos futuros

Em trabalhos futuros, pretende-se analisar o uso de VANTs em cenários onde as áreas de interesse estejam distribuídas de forma mais esparsa, com os VANTs atuando de forma cooperativa, onde cada conjunto de VANTs auxilia apenas uma zona de interesse específica a exemplo do que foi citado na seção 6.2.1 e exemplificado na Figura 7.

Utilizando como base os conhecimentos adquiridos com este trabalho, uma outra vertente deverá ser a investigação de um protocolo que seja otimizado para cenários de emergência em conjunto com veículos não tripulados, privilegiando estes veículos como nós de encaminhamento de mensagens.



# Referências

- ABELEM, A. J. G. et al. Redes mesh: Mobilidade, qualidade de serviço e comunicação em grupo. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas distribuídos (SBRC)*, Pará, PA, Brasil, 2007.
- ARAUJO, S. B. de. Manual de planejamento de emergência. *Higher Education*, p. 1–8, 2009.
- BAILEY, J. N. Design of a low cost powered r/c combat airplane and manufacturing plan. *California Polytechnic State University, Senior project for Bachelor of science in Manufacturing Engineering*, 2010.
- BEARD, R. W. et al. Autonomous vehicle technologies for small fixed-wing uavs. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, v. 2, n. 1, p. 92–108, 2005.
- BRAUNSTEIN, B. et al. Challenges in using distributed wireless mesh networks in emergency response. In: *Proceedings of the 3rd International ISCRAM Conference*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 30–38.
- BURGESS, J. et al. Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In: BARCELONA, SPAIN. *Proc. ieee infocom*. [S.l.], 2006. v. 6, p. 1–11.
- CAMPILLO, A. M. et al. Evaluating opportunistic networks in disaster scenarios. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, 2012.
- DAMLE, A. Mesh wlan networks: Concept and system design. *IEEE Wireless Communications*, p. 11, 2006.
- DILMAGHANI, R. B.; MANOJ, B.; RAO, R. R. Emergency communication challenges and privacy. In: *Proceedings of the 3rd International ISCRAM Conference*, B. Van de Walle and M. Turoff, Eds. Newark, NJ. [S.l.: s.n.], 2006.
- DILMAGHANI, R. B.; RAO, R. R. A wireless mesh infrastructure deployment with application for emergency scenarios. In: *5th International ISCRAM Conference*. [S.l.: s.n.], 2008.
- FALL, K. et al. A disruption-tolerant architecture for secure and efficient disaster response communications. *Proceedings of ISCRAM*, 2010.
- FLIGHTONE. *Flight Technologies - Empresa fabricante de VANTs*. 2013. <http://www.flighttech.com.br/template.php>.
- FREITAS, E. P. de et al. Uav relay network to support wsn connectivity. In: IEEE. *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010 International Congress on*. [S.l.], 2010. p. 309–314.
- GELLENBE, E.; GORBIL, G. Wireless networks in emergency management. In: ACM. *Proceedings of the first ACM international workshop on Practical issues and applications in next generation wireless networks*. [S.l.], 2012. p. 1–6.
- GOOGLE. *loon for all*. 2013,. URL <https://www.google.com/loon/>.

- JIANG, P.; BIGHAM, J.; BODANESE, E. Adaptive service provisioning for emergency communications with dtn. In: IEEE. *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE*. [S.l.], 2011. p. 2125–2130.
- JUNIOR, G.; ARAUJO, A. Carlos Alberto de; LUIZ, M. Capacitação em defesa civil: sistema de comando em operações–sco. *Apostila de Capacitação a Distância*. s/d, 2010.
- KERANEN, A. Opportunistic network environment simulator. *Special Assignment report, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking*, 2008.
- LINDGREN, A.; DORIA, A.; SCHELEN, O. Probabilistic routing in intermittently connected networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ACM, v. 7, n. 3, p. 19–20, 2003.
- LONGHITANO, G. A. Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas). In: *Conferência das Nações Unidas, Rio+20, Rio de Janeiro, Brasil*. [S.l.: s.n.], 2010.
- MACKDONALD senador h i. an innovative robot aircraft for atmospheric monitoring parliament house. 1998.
- MANOJ, B. S.; BAKER, A. H. Communication challenges in emergency response. *Communications of the ACM*, ACM, v. 50, n. 3, p. 51–53, 2007.
- MIRANDA, I. E. S. d. A. Arlindo Bastos de. Análise do emprego de veículos aéreos não tripulados (vant) nas ações e operações da pm. *Universidade do Estado da Bahia, monografia do curso de especialização e segurança pública*, 2009.
- MOTA, V. F.; SILVA, T. H.; NOGUEIRA, J. M. S. Introduzindo tolerância a interrupção em redes ad hoc móveis para cenários de emergência. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas distribuídos (SBRC), Recife, PE, Brasil*, 2009.
- REIS, J. T.; MADRUGA, R. A.; SAUSEN, T. M. Sistematização de ocorrências de desastres naturais na região sul do brasil em 2011. *Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, Rio Claro, SP, Brasil*, 2011.
- SAADE, D. et al. Redes em malha: Solução de baixo custo para popularização do acesso à internet no brasil. *XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações-SBrT*, p. 1–6, 2007.
- SANTOS, E. V. dos; MOTA, V. F. S.; NETO, D. O. G. Introduzindo tolerância a interrupções em redes ad hoc móveis. *Universidade Federal de Minas Gerais, Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Aplicações de Rede*, 2008.
- SANTOS, R.; OCHOA, S. F. Disseminating shared information in disaster relief efforts: A communication computable model. In: IEEE. *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 3446–3451.
- SARRIS, Z.; ATLAS, S. Survey of uav applications in civil markets (june 2001). In: *The 9 th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation (MED'01)*. [S.l.: s.n.], 2001.
- SIVAKUMAR, A.; TAN, C. Formation control for lightweight uavs under realistic communications and wind conditions. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*. Chicago: AIAA, 2009.

SIVAKUMAR, A.; TAN, C. K.-Y. Uav swarm coordination using cooperative control for establishing a wireless communications backbone. In: INTERNATIONAL FOUNDATION FOR AUTONOMOUS AGENTS AND MULTIAGENT SYSTEMS. *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 3-Volume 3*. [S.l.], 2010. p. 1157–1164.

SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: ACM. *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*. [S.l.], 2005. p. 252–259.

VAHDAT, A.; BECKER, D. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks. *Technical Report CS-2000-06, Duke University*, 2000.

YARALI, A.; AHSANT, B.; RAHMAN, S. Wireless mesh networking: A key solution for emergency and rural applications. In: IEEE. *Advances in Mesh Networks, 2009. MESH 2009. Second International Conference on*. [S.l.], 2009. p. 143–149.