

UMA POLÍTICA DE DESCARTE BASEADA EM
COBERTURA EM REDES DE SENSORES SEM
FIO COM CONEXÃO DISRUPTIVA

DANIEL FRAZÃO LUIZ

**UMA POLÍTICA DE DESCARTE BASEADA EM
COBERTURA EM REDES DE SENSORES SEM
FIO COM CONEXÃO DISRUPTIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Informática.

ORIENTADOR: CARLOS MAURÍCIO SERÓDIO FIGUEIREDO

Manaus - AM

Março de 2013

© 2013, Daniel Frazão Luiz.
Todos os direitos reservados.

Frazão Luiz, Daniel
D1234p Uma Política de Descarte Baseada em Cobertura
em Redes de Sensores Sem Fio Com Conexão
Disruptiva / Daniel Frazão Luiz. — Manaus - AM,
2013
xx, 50 f. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal do
Amazonas
Orientador: Carlos Maurício Seródio Figueiredo

1. Computação — Teses. 2. Redes — Teses.
I. Orientador. II. Título.

CDU 519.6*82.10

[Folha de Aprovação]

Quando a secretaria do Curso fornecer esta folha, ela deve ser digitalizada e armazenada no disco em formato gráfico.

Se você estiver usando o `pdflatex`, armazene o arquivo preferencialmente em formato PNG (o formato JPEG é pior neste caso).

Se você estiver usando o `latex` (não o `pdflatex`), terá que converter o arquivo gráfico para o formato EPS.

Em seguida, acrescente a opção `approval={nome do arquivo}` ao comando `\ppgccufmg`.

Se a imagem da folha de aprovação precisar ser ajustada, use:
`approval=[ajuste] [escala] {nome do arquivo}`
onde *ajuste* é uma distância para deslocar a imagem para baixo e *escala* é um fator de escala para a imagem. Por exemplo:
`approval=[-2cm] [0.9] {nome do arquivo}`
desloca a imagem 2cm para cima e a escala em 90%.

Agradecimentos

Agradeço a minha família, José Luiz (pai), Silvana Cristina (mãe) e Luciana Frazão (irmã), por darem todo apoio necessário nessa caminhada que foi o mestrado.

Aos meus colegas do laboratório de Computação Móvel e Perversiva que me ajudaram com o trabalho e pelo companheirismo.

Aos meus amigos da Universidade Federal do Amazonas que foram essenciais na motivação em momentos de difíceis encontrados pelo caminho.

Agradeço ao meu orientador Carlos Maurício S. Figueiredo que me orientou, ajudou e foi paciente durante toda essa jornada.

*“A vitória de um homem,
às vezes se esconde em um gesto
forte que só ele pode ver.”
(Autor desconhecido)*

Resumo

Muitas aplicações de Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) consideram o monitoramento de localidades afastadas, de difícil acesso e em larga escala. Para tais cenários, é difícil imaginar que todos os segmentos da rede estão interconectados ou têm conectividade direta com uma central de processamento. Uma visão possível é o uso conjunto dos conceitos de RSSFs e redes tolerantes a desconexões (DTNs - *Disruptive-tolerant networks*), em que nós móveis podem ser responsáveis por coletar dados de redes esparsas e entregá-los a um ponto central. Esta dissertação apresenta uma estratégia de gerenciamento de *buffers*, que é uma das funções fundamentais das DTNs. A solução proposta baseia-se no cálculo da cobertura para o descarte de pacotes de dados que menos contribuam para a cobertura global do sistema, favorecendo sua aplicação em redes de sensores com recursos limitados mas de alta escala. Através de simulações, mostramos que a Política de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP) melhora a cobertura da rede em comparação às políticas de descarte normalmente encontradas nas DTNs, como *Drop Last* (DL) e *Drop First* (DF).

Palavras-chave: RSSFs, Redes DTNs, Computação Móvel, Políticas de Descarte.

Abstract

Many applications in Wireless Sensor Networks (WSNs) consider remote and large scale monitoring. For those scenarios, the whole network is hardly fully connected all the time. A possible vision is the union of WSNs and Disruptive Tolerant Network(DTNs) concepts, where mobile nodes make collect data in sparse networks and deliver them to a base station. This work presents a buffer management strategy, which is a basic principle in DTN networks. The proposed solution considers the global coverage to choose which messages are dropped, therefore, minimizing the impact on monitoring application. Such solution is important for WSNs applications with limited resources. We show through simulation that the proposed Coverage-Based Drop-Policy in Wireless Sensor Network with Disruptive Connections (CBDP) improves the network coverage compared to traditional DTN drop policies like Drop Last (DL) and Drop First (DF).

Keywords: WSN, DTN, Buffer Manager, Mobile Computing.

Lista de Figuras

2.1	Exemplos de modelos de nós sensores.	7
2.2	Exemplo de uma possível implantação de RSSF, para monitorar a temperatura, em um local de difícil acesso e manutenção.	7
2.3	Exemplo de uso de redes sensores em aplicações residenciais.	8
2.4	Exemplo de uso de redes sensores em aplicações militares.	9
2.5	Exemplo de uso de redes sensores em aplicações ambientais (Sauim-de-Manaus).	10
2.6	Exemplo de uso de redes sensores em aplicações de tráfego.	11
2.7	Uso de redes sensores em aplicações de agricultura de precisão.	11
2.8	Exemplo de uso de redes sensores em aplicações de monitoramento da saúde, sensor protótipo implantado para testes de sangue instantâneo, com o resultado no celular.	12
2.9	No primeiro caso, a distância dos centros das circunferências representada por d é maior que a soma dos raios r_1 e r_2 não havendo então área de interseção.	17
2.10	No segundo caso, a distância dos centros das circunferências representada por d é igual que a soma dos raios r_1 e r_2 não havendo então área de interseção.	17
2.11	No terceiro caso, a distância dos centros das circunferências representada por d é menor que a soma dos raios r_1 e r_2 havendo então área de interseção.	18
2.12	Figura que representa a interseção de dois nós A e B , onde d é a distância entre os nós, $A.r$ e $B.r$ são seus raios de sensoriamento e C e D são os pontos de interseção entre os raios de sensoriamento dos nós A e B	18
2.13	Um exemplo de aplicação de uma rede DTN. Uma rede interplanetária sofrendo desconexões causadas pela órbita dos satélites.	20
2.14	Exemplo de possíveis MULAs que fazem contato oportunista.	22
2.15	Exemplo de particionamento do <i>buffer</i> baseado no tipo de pacote.	29

3.1	Funcionamento da rede (a) Rede com 7 nós fixos e uma MULA (b) MULA entra no raio de comunicação do nó sensor (c) Nó sensor envia sua localização para MULA (d) A MULA compara a localização recebida com as informações existentes em seu <i>buffer</i> e descarta a informação do nó com a maior área de interseção.	33
3.2	Impacto do tamanho do <i>buffer</i> em uma rede com 50 nós.	36
3.3	Impacto do tamanho do <i>buffer</i> em uma rede com 100 nós.	37
3.4	Impacto do tamanho do <i>buffer</i> em uma rede com 150 nós.	37
3.5	Impacto do tamanho da rede na cobertura em uma MULA com <i>buffer</i> 50.	38
3.6	Impacto do tamanho da rede na cobertura em uma MULA com <i>buffer</i> 100.	39
3.7	O impacto da quantidade de MULAs na rede com 50 nós.	40
3.8	O impacto da quantidade de MULAs na rede com 300 nós.	40
4.1	Eleição de líderes locais : (a) Mula entra na área de sensoriamento (b) Eleição do líder local (c) Nó líder informa ao vizinhos que é o líder local (d) Os dados são transmitidos ao líder que os entrega a MULA	42

Lista de Tabelas

2.1	Relações sociais adotadas	30
3.1	Parâmetros de simulação.	35

Sumário

Agradecimentos	vii
Resumo	xi
Abstract	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
1 Introdução	1
1.1 Motivação e objetivos da dissertação	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Organização da dissertação	2
2 Introdução a RSSFs e Redes DTNs	5
2.1 Redes de sensores	5
2.1.1 Sink móvel	13
2.1.2 Cobertura	16
2.1.3 Área de interseção de duas circunferências	16
2.2 Redes DTNs	19
2.2.1 Os contatos oportunistas	21
2.2.2 Modelos de roteamento	22
2.2.3 Modelos de mobilidade	25
2.3 Trabalhos relacionados	27
2.3.1 Políticas para descarte em <i>buffer</i> em DTNs	27
3 Uma Política de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP)	31
3.1 Descrição do problema e solução	31

3.2	Descrição do cenário	35
3.3	Métricas	35
3.3.1	Avaliação do tamanho do <i>buffer</i>	36
3.3.2	Avaliação do tamanho da rede	38
3.3.3	Avaliação da quantidade de MULAs	39
4	Considerações Finais	41
4.1	Conclusões	41
4.2	Trabalhos futuros	42
	Referências Bibliográficas	45
4.3	Trabalhos concluídos durante o mestrado	50

Capítulo 1

Introdução

Redes de Sensores Sem Fio [Akyildiz et al., 2002] emergiram na última década devido ao grande potencial de mudar a forma como as pessoas observam e interagem como o mundo [Loureiro et al., 2003]. Inicialmente, vários trabalhos trataram de aspectos de organização e comunicação eficiente [Figueiredo et al., 2005] e, posteriormente, começaram a surgir trabalhos sobre aplicações interessantes, principalmente as áreas de monitoramento ambiental [Arampatzis et al., 2005].

Em relação às infraestruturas de comunicação, um aspecto importante é propor formas de criar redes alternativas e de baixo custo. Particularmente, vários cenários consideram a impossibilidade de comunicação direta entre nós ou segmentos de redes diretamente a um ponto central de processamento. Principalmente aqueles onde as redes são de grande escala, esparsas e dispostas em localidade de difícil acesso, como é o caso do monitoramento da Amazônia, por exemplo. Nesse sentido, surgiu o conceito de comunicação oportunista [Eisenman et al., 2008], onde se adota a coleta de dados através de MULAS (MULE - *Mobile Ubiquitous LAN Extension* [Shah et al., 2003]) esporadicamente presentes na cobertura do raio de comunicação dos nós de uma rede de sensores, para transportar os dados sensorizados para outras áreas de uma grande rede.

A comunicação oportunista relaciona-se com o conceito das DTNs - (*Disruptive Tolerant Networks*) [Fall & Farrell, 2008], onde desconexões entre nós da rede são comuns e o atraso na entrega de mensagens é tolerável. Embora vários algoritmos de roteamento e estratégias têm sido propostos para tais redes [Jain et al., 2004], as RSSFs nos mostram que as melhores soluções dependem da aplicação e seus requisitos. Particularmente, as RSSFs adotam soluções cientes dos dados (*data-aware*), dados da aplicações que ajudam a obter um melhor resultado, e tal característica deve ser considerada na união dos conceitos de RSSFs e DTNs, alvo deste trabalho.

1.1 Motivação e objetivos da dissertação

Existe a necessidade de tecnologias que permitam a coleta de informações em lugares de difícil acesso, como exemplo, temperatura na floresta amazônica, tais ambientes precisam de sistemas que sejam autônomos e que não precisem de constante manutenção e ainda tenham uma longa vida útil. A política proposta nessa dissertação se encaixa neste último conceito de rede autônoma, pois utiliza a combinação de conceitos de RSSFs com DTNs para a verificação dos pacotes *data-aware*, que é um conceito difundido em RSSF, com a coleta de dados oportunistas, a união desses conceitos é feito para melhorar o armazenamento de informações mais relevantes (que contribuam mais à cobertura), melhorando assim a eficiência da rede.

1.1.1 Objetivo geral

- Criação de uma política para gerenciamento de *buffer* visando maximizar a cobertura da rede em RSSF utilizando coleta oportunista de dados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Dimensionar número de MULAs que utilizando a política de gerenciamento de *buffer* proposta maximizem a cobertura.
- Mensurar tamanho do *buffer*s referente as MULAs visando otimizar a cobertura da rede.
- Constatar que a verificação do conteúdo dos pacotes, através da política de descarte proposta, potencializa a cobertura da rede.

1.2 Organização da dissertação

A dissertação está estruturada em 4 capítulos, onde, além do capítulo introdutório, temos 3 capítulos que são descritos a seguir:

O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos utilizados no decorrer da dissertação apresentando conceitos básicos de redes de sensores sem fio, redes DTNs e de área de interseção de duas circunferências e os trabalhos relacionados relativos a políticas de descarte de pacotes.

O Capítulo 3 propõe uma política de descarte baseada em cobertura de sensoriamento. Neste estão descritas as primitivas do modelo proposto e as restrições consideradas.

No Capítulo 4 apresenta-se as conclusões e as sugestões para possíveis trabalhos futuros.

Capítulo 2

Introdução a RSSFs e Redes DTNs

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos básicos referentes a redes de sensores, redes DTN, área de cobertura entre duas circunferências e de mobilidade. Esses conceitos apresentados aqui neste capítulo serão necessários para o entendimento do problema e da solução proposta por essa dissertação.

2.1 Redes de sensores

Segundo [Loureiro et al., 2003], Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) é uma tecnologia emergente que promete funcionalidades sem precedentes para monitorar, instrumentar e possivelmente, controlar o mundo físico. As RSSFs consistem de um grande número de dispositivos em nós (nós sensores ou simplesmente sensores) densamente distribuídos em uma região de interesse. Elas podem operar por períodos de tempo variando de semanas até anos de forma autônoma. Isso depende fundamentalmente da quantidade de energia disponível para cada nó sensor na rede.

As principais características de uma RSSF são: o sensor, o observador e o fenômeno. O sensor é quem faz a monitoração do fenômeno que esta sendo analisado, ele é formado por: processador, rádio para comunicação, memória e bateria. Ele faz a leitura do fenômeno e transforma a informação da grandeza física medida em um sinal elétrico e repassa essa informação para o observador. A distância do fenômeno em relação ao sensor, influencia a precisão desse sensor, quanto menor a distância melhor a precisão. O observador é o usuário final que deseja estudar e obter respostas sobre o fenômeno. O fenômeno é o objeto de estudo do observador, é o que esta sendo monitorado pela RSSF. Devido à grande dificuldade geralmente encontrada na substituição de baterias dos nós sensores, o consumo de energia torna-se um fator crítico em RSSF, necessitando assim de protocolos que melhorem o consumo de energia prolongando a

vida útil do sistema. Outro ponto importante em RSSF é a tolerância a falhas, visto que muitas vezes os sensores encontram-se em área de difícil acesso ou áreas perigosas, sendo necessários algoritmos de roteamento e técnicas para auto organização dos dispositivos. Em RSSF, as principais métricas para a avaliação dos seus protocolos são: eficiência de uso da energia e vida útil do sistema, latência, precisão, tolerância a falhas, escalabilidade e cobertura. Uma rede de sensores deve receber e transmitir dados de forma segura, obedecendo assim alguns requisitos, como:

- Confidencialidade dos dados - garantia de transmissão somente dentro da rede, ou seja, redes vizinhas não podem ter acesso a essas informações.
- Autenticação dos dados - garantir que os dados recebidos são de uma fonte segura.
- Integridade dos dados - garantir que os dados recebidos não foram alterados durante sua transmissão.
- Dados recentes - evitar a redundância de dados, transmissões antigas podem influenciar na coleta de uma rede, ou seja, deve garantir que os dados recebidos são recentes.

Cada nó em uma RSSF é tipicamente equipado com um transmissor de rádio ou um outro dispositivo de comunicação sem fio, um pequeno micro-controlador, uma fonte de energia, e armazenamento de dados. O tamanho de um nó sensor varia podendo ter o tamanho de um caixa de sapato ou até mesmo um grão de areia, embora nós funcionais de tamanhos microscópios ainda não foram criados.

O custo de um nó sensor varia dependendo do tamanho e da complexidade individual do nó sensor. Tamanho e custo são restrições que afetam diretamente em outras limitações dos nós sensores como energia, memória, velocidade computacional e largura de banda. Podemos ver alguns modelos de nós na Figura 2.1.

Como dito antes, em muitas aplicações os nós sensores podem não estar facilmente acessíveis, como podemos ver no exemplo mostrado na Figura 2.2, por causa da localização onde são empregados ou da escala da rede. Em ambos casos, a manutenção da rede para reabastecimento de energia (troca de bateria) se torna difícil ou até mesmo impraticável. Principalmente, caso seja necessário substituir a bateria de um sensor frequentemente, com isso, uma das principais vantagens de uma RSSF seriam perdidas que é a baixa manutenção, portanto, devemos otimizar o uso da rede para prolongar sua vida útil.

O desenvolvimento das RSSFs foi motivado para uso militar, para monitorar campos de vigilâncias, porém logo foram identificadas outras aplicações para fins pacíficos.

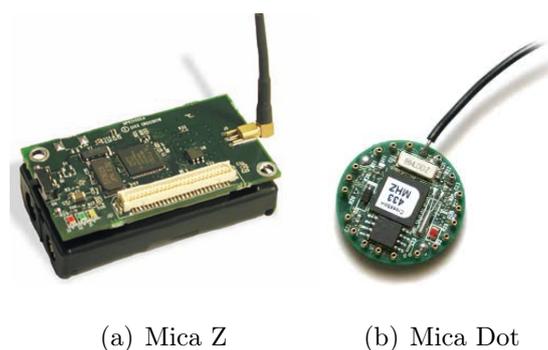


Figura 2.1. Exemplos de modelos de nós sensores.

Fonte: <http://www.xbow.com>



Figura 2.2. Exemplo de uma possível implantação de RSSF, para monitorar a temperatura, em um local de difícil acesso e manutenção.

Fonte: MERTVIY, África 05-03-2008

Esse modelo de rede é muito versátil podendo ser aplicado em diversos segmentos [Loureiro et al., 2003], desde de uso militar, para se ter vantagem em relação as características do campo de batalha até no uso doméstico para facilitar, e melhorar a qualidade de vida das pessoas como veremos a seguir:

- Aplicações domésticas - As RSSFs são cada vez mais utilizadas em ambientes doméstico, como detecção de invasores, incêndio e automação de tarefas, sua utilização para detectar invasores pode ser feita através de sensores instalados na residência realizando o monitoramento de temperatura do ambiente e também verificando os movimentos realizados dentro da casa, sendo assim possível detectar uma invasão dentro de uma residência. Uma outra utilidade em destaque é a prevenção de incêndios, com uma RSSFs instalada é possível detectar fogo e a própria rede aciona os bombeiros, ou o proprietário de forma automática.

A automação de tarefas é uma outra aplicação, sensores controlam a iluminação do ambiente conforme a intensidade da luz ambiente, fazendo com que o proprietário não precise se preocupar com a iluminação da casa.

Os chamados ambientes inteligentes estão ganhando cada vez mais espaços nos meios de comunicação, pois automatizam tarefas e monitoram o ambiente melhorando a qualidade de vida e aumentando a segurança. Estes ambientes são possíveis através do uso de RSSFs, que tem como diferencial ser reativa podendo além de detectar um evento, realizar uma determinada ação quando tal evento ocorrer. Na Figura 2.3 é possível ver algumas aplicações em uma casa "inteligente" equipada com uma RSSF.

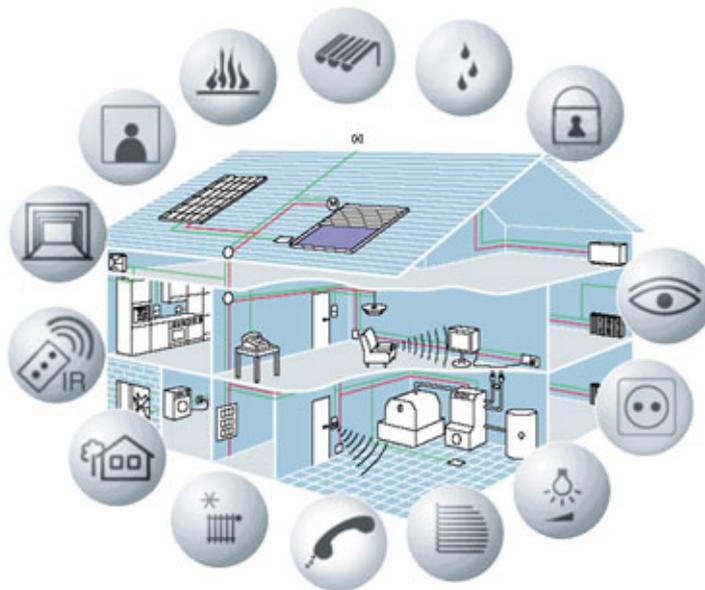


Figura 2.3. Exemplo de uso de redes sensores em aplicações residenciais.

Fonte: NORCOM Telecomunicações, Ltda.

- Militar - Como a maioria das tecnologias, RSSFs são amplamente utilizadas em ambientes militares, a aplicação que tem destaque nessa área é a sua utilização para reconhecimento e monitoramento de ambientes, assim como na segurança de ambientes domésticos é possível detectar o inimigo e saber a arquitetura do ambiente, outra vantagem é que como as RSSFs são configuradas para atuarem de forma descentralizadas, perder alguns nós sensores não afetariam tanto uma RSSF.

O monitoramento de pessoas e cargas é possível em RSSFs, na literatura existem diversos artigos que realizam a localização de nós sensores, com isso bastaria

colocar um sensor em alguma pessoa ou carga que se deseja monitorar, tal controle é essencial em ambiente militar.

Um monitoramento de ambientes com RSSFs torna possível a detecção de ataques inimigos, através de sensores de calor, ou outros tipo de ataques como biológicos e químicos. Além de ser possível para monitorar o solo e detectar minas terrestres, como mostrado na Figura 2.4.



Figura 2.4. Exemplo de uso de redes sensores em aplicações militares.

Fonte: *Lockheed Martin - Self-Powered Ad-hoc Network (SPAN)*

- Industrial - O uso industrial das RSSFs é bastante difundido para a automação de atividades, por exemplo uma RSSFs pode ser utilizada para controlar a temperatura de um tanque químico assim como a sua pressão diminuindo a intervenção humana. A vantagem de utilizar uma RSSF em relação a utilização de uma rede cabeada é que esta última gera custos em sua manutenção, caso os cabos oxidem ou quebrem. As RSSF também ganha em relação a espaço, este que seria ocupado por cabos em uma rede tradicional.
- Aviação - As RSSFs podem ser de grande valor na aviação substituindo as tradicionais redes com fios, como são utilizadas hoje, com isso é possível diminuir o peso total de um avião e assim otimizar os espaços e gerar economia de combustível por estarem mais leves.
- Aplicações ambientais - Em aplicações ambientais, as RSSFs têm a vantagem de serem mais facilmente aplicadas do que estruturas tradicionais e com fios, estruturas tradicionais seriam mais onerosas tanto na instalação como na manutenção. As RSSFs podem ser úteis para detectar incêndios em florestas, outro tipo de monitoramento possível é o de enchentes. A utilização de redes sensores

pode ser útil para monitorar o comportamento de certos animais em um habitat como no projeto SAUIM (Sistema de Monitoramento e Armazenamento de Dados de Fauna Terrestre e Micro-clima Gerados por Sensores Móveis e Fixo), que auxiliam os biólogos em seus estudos facilitando a localização dos macacos da espécie *Saguinus bicolor* mais conhecida como Sauim-de-Manaus para que se possa estudar seus hábitos Figura 2.5.



Figura 2.5. Exemplo de uso de redes sensores em aplicações ambientais (Sauim-de-Manaus).

Fonte: IBAMA

- Tráfego - As RSSFs podem ser úteis principalmente no monitoramento de vias, estacionamentos, e assistência ao motorista. No monitoramento de vias as RSSFs podem monitorar quais vias estão congestionadas, essa verificação pode ser feita utilizando sensores fixados em pontos estratégicos nas vias que fariam o monitoramento de sensores instalados nos carros, assim teríamos de forma precisa quais vias das cidades estariam congestionadas. Na assistência ao motorista e segurança sensores podem detectar uma colisão e realizar manobras para evitar tais colisões ou quando não for possível, realizam uma pequena manobra para diminuir os danos dos passageiros do veículo. Na Figura 2.6 podemos visualizar a comunicação de veículos entre si e como sensores instalados em pontos estratégicos das vias, para ajudar no tráfego e segurança.
- Agricultura de precisão - Utilizar uma RSSF na agricultura é uma solução para aumentar a produção de forma a controlar o ambiente de cultivo. É possível utilizar uma RSSF para fazer o gerenciamento de irrigação do solo, utilizando sensores para avaliar a umidade, e irrigando somente as áreas necessárias evitando o desperdício de água. Outro monitoramento possível é o de temperatura nas estufas, para manter o clima dentro delas, sempre em condições ideais e aumentando a produtividade Figura 2.7.

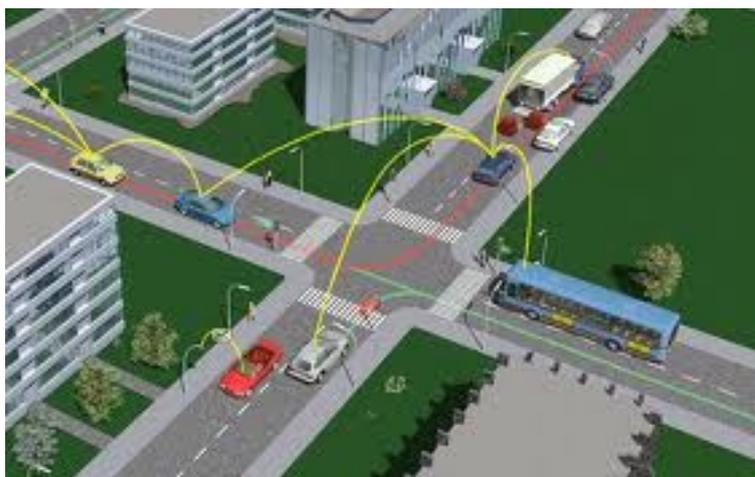


Figura 2.6. Exemplo de uso de redes sensores em aplicações de tráfego.

Fonte: Codex: *The Journal for Defence Engineering and Science*

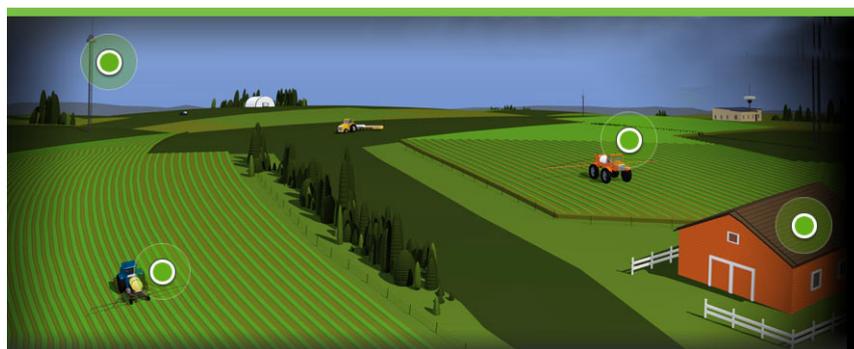


Figura 2.7. Uso de redes sensores em aplicações de agricultura de precisão.

Fonte: SLINGSHOT 2013

- Aplicações de monitoramento de saúde - Uma das aplicações mais nobres e que impactam diretamente na qualidade de vida, são as RSSFs aplicadas no monitoramento da saúde, sensores que monitoram a frequência cardíaca, respiração e pressão sanguínea de um indivíduo fazem a leitura precisa desses dados e podem acionar uma ambulância caso sofra um ataque cardíaco, com isso a chance de sobrevivência de uma pessoa que viva sozinha e não tem ninguém por perto para socorrê-la aumentaria. Outra possibilidade é para pacientes que precisem de insulina, é possível que sensores doseem a quantidade necessária ao longo do dia conforme a quantidade medida no sangue na hora. Na Figura 2.8 é mostrada uma possibilidade de aplicação de RSSFs na saúde.
- Aplicações Multimídia - Com o avanço da tecnologia os dispositivos de *hardware* estão mais potentes em relação ao processamento e armazenamento, além de es-

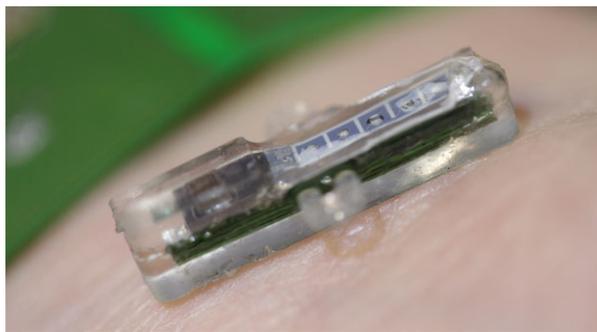


Figura 2.8. Exemplo de uso de redes sensores em aplicações de monitoramento da saúde, sensor protótipo implantado para testes de sangue instantâneo, com o resultado no celular.

Fonte: *Escuela Politécnica Federal de Lausanne (EPFL) en Suiza*

tarem mais acessíveis. Com isso dispositivos móveis passam a capturar dados multimídia, esses dados podem ser capturados com a utilização de câmeras e microfones que são habilitados a capturar de forma pervasiva o conteúdo a partir do ambiente, fomentando assim o desenvolvimento de Redes de Sensores Multimídia sem Fio. Esse formato de rede de sensores sem fio permitem o monitoramento por meio da captura de vídeo, áudio e imagem estática.

As redes de sensores multimídia fornecem melhor qualidade na captação e processamento das informações monitoradas. Alguns exemplos dessa melhoria são:

- Aumento da capacidade de captura : A utilização de uma única câmera pode não ser suficiente, podendo ter um campo de visão reduzido. Por outro lado, um sistema distribuído, múltiplas câmeras e sensores, habilita a percepção do ambiente a partir de diversos pontos de vista;
- Qualidade da Captura : A utilização de múltiplas câmeras, gera uma redundância que podem ser heterogêneas e sobrepostas, melhora o reconhecimento e distinção do ambiente, já que diferentes pontos de captura de uma mesma área ou alvo podem ser disponibilizados.

Como apresentamos anteriormente as RSSFs possuem diversas aplicações melhorando nossa qualidade de vida, como visto nas aplicações médicas e também diminuindo custos quando aplicadas na aviação, porém esse modelo de rede possui grandes desafios que serão mostrados a seguir:

- **Processamento:** Os sensores por serem geralmente pequenos, o que facilita a sua implantação, possuem limitações de processamento, então soluções totalmente

centralizadas devem ser evitadas afim de diminuir a carga de processamento individual de cada nó sensor, por isso é sempre bom desenvolver soluções distribuídas melhorando assim o desempenho da rede.

- **Armazenamento:** Assim como o processamento o armazenamento é um dos grandes desafios de RSSFs, os nós sensores não possuem grande capacidade de armazenamento, então por isso a tendência é que uma hora seus *buffers* fiquem cheios, e assim devemos pensar em estratégias de armazenamento de informações mais eficazes para a aplicação que a RSSF está destinada.
- **Consumo de Energia -** A vida útil de um nó sensor tem uma forte relação com o tempo de vida da bateria. Em vários casos, o nó sensor possui uma fonte de energia limitada e a recarga ou substituição dessa fonte também pode ser limitada ou inviável. As baterias utilizada por sensores em aplicações comerciais é baseada no uso de duas células alcalinas AA ou uma célula de lítio AA. O gerenciamento e conservação de energia são funções críticas em redes de sensores e há a necessidade de projetos de algoritmos e protocolos que otimizem a utilização de energia nos nós sensores. O consumo de energia pode ser atribuído a três domínios funcionais: sensoriamento, comunicação e processamento de dados, cada um dos quais precisa de otimização.

Abordamos os grandes desafios da RSSFs, nesta dissertação tratamos um deles que é o armazenamento de dados, a escolha deste desafio foi em função de que os arquivos transmitidos por uma RSSF vêm aumentando de tamanho, como por exemplo fotos e vídeos com qualidade cada vez maior e assim sendo necessário também um espaço de armazenamento maior, por isso é necessário a utilização de protocolos que otimizem a utilização de memória e armazenamento dos nós sensores da rede, que é o que propomos, uma política de descarte que o otimiza a memória dos sensores quando está saturada e assim escolhe dados prioritários para permanecer na memória, e que será mais detalhada posteriormente.

2.1.1 Sink móvel

Em RSSFs existe um tipo especial de nó sensor, responsável por coletar e processar os dados dos outros nós sensores da rede, esses nós são chamados de *sinks*. Nós *sinks* também são MULAs, pois movimentam-se pela rede coletando dados, e geram informação a partir destes.

As RSSFs com nós *sinks* estáticos possuem limitações em relação a possíveis formas de comunicações entre o nó que detecta o evento, até sua transmissão ao nó

sink que irá tratar esse dado e transformar em uma informação processada. Essas comunicações entre nós fontes, que são os que detectam o evento, e os nós *sinks*, podem ser realizadas através de uma conexão direta ou através de multi saltos. Para a transmissão de dados em um único salto, ou direta, é necessário que o nó sensor possua um grande alcance de comunicação de rádio, o que nem sempre é possível pois conforme a distância aumenta, é necessária uma maior utilização de energia por parte dos nós, além de existir interferência, e ser mais oneroso ter nós sensores com um maior alcance. Uma alternativa é a transmissão de dados através de multi saltos entre o nó fonte e o nó *sink*, nesse caso não é necessário um nó com grande potência de rádio, já que a informação é enviada através dos nós vizinhos até chegar ao seu destino. Porém esta solução gera um problema, caso um nó intermediário pare de funcionar, pode ocorrer de não existir mais um caminho entre o nó fonte e o nó *sink* e a informação não ser entregue.

Para serem uma alternativa, foram desenvolvidos os nós *sinks*, que adotam esquemas de mobilidades de acordo com a natureza da aplicação da RSSF e seus requisitos. *Sinks* podem fixar-se temporariamente em uma posição da rede por um período de tempo, para que os caminhos a serem seguidos sejam configurados, e as requisições sejam enviadas para realizar o encaminhamento de dados. Depois de algum tempo, os nós *sinks* movem-se para um novo ponto na rede e reinicia o esquema de mobilidade que são classificados nas seguintes categorias [Basagni et al., 2008]:

- Retransmissão utilizando multi saltos: Diferente de redes com *sinks* estáticos em redes com nós *sinks* móveis é necessário que a localização dos nós *sinks* sejam anunciadas de forma regular. Esse custo de atualização de localização é muito oneroso em redes com uma taxa pequena de entrega e aplicações sensíveis ao tempo. Nessa abordagem os nós vizinhos dos *sink*, tem um uso maior de suas baterias fazendo com que a rede passe a ter problemas de desconexões, quando esses nós vizinhos forem desativados por falta de energia.
- Comunicações com multi saltos controlados : As requisições dos nós *sinks* móveis utilizando *broadcast* e mineração de dados são limitados por uma quantidade de saltos, que são iguais ao seu tempo de vida. No trabalho [Chatzigiannakis et al., 2008] o nó *sink* divide a rede em regiões em formas quadrado e tamanhos iguais. O nó *sink* então visita de forma aleatória cada região passando pelo centro do quadrado escolhido.
- Transmissão direta entre o nó fonte e o nó *sink* : Não é uma forma eficiente em relação a energia e não é uma abordagem viável quando se trata de uma RSSF

homogênea onde todos os sensores são similares e tem limitações em relação a energia. Para essa abordagem é necessário nós sensores com uma potência de rádio maior, ou seja, alguns nós sensores devem ter um alcance de comunicação maior, para realizar a comunicação com nós sensores mais distantes. A proposta do trabalho [Khan et al., 2008], utiliza *clusters* com um nó líder que agrega a informação do *cluster* e envia diretamente para o *sink*.

- Coleta de dados passiva : O nó *sink* visita todos os nós um por um e realiza a coleta dos dados diretamente [Chatzigiannakis et al., 2007], [Chatzigiannakis et al., 2008]. Os nós *sinks* periodicamente enviam uma mensagem informando sua localização. Os sensores após receberem a localização dos *sinks* enviam as informações monitoradas em direção ao nó *sink*. Dessa forma temos uma máxima eficiência em relação a energia e uma maior vida útil da rede é alcançada mas o custo são os grandes atrasos na comunicações, que são limitados pela movimentação do nó *sink*. Nesse esquema é importante levar em consideração a mobilidade dos nós *sinks* que influenciam na coleta.

Os nós *sinks* são diferentes de retransmissores móveis. Em [Luo et al., 2006] mostra-se as diferenças de forma detalhada entre um nó retransmissor móvel e um nó *sink* móvel. O retransmissor móvel realizar apenas a coleta de informação dos nós sensores quando está dentro do seu raio de comunicação e faz o transporte desses dados através de movimentação mecânica ao invés de realizar a transmissão através de uma conexão sem fio até a estação base. Uma característica desse formato de rede é o aumento da latência na taxa de entrega de dados. Diferente de um retransmissor móvel, um *sink* móvel faz a distribuição e balanceamento de informação na rede, coleta os dados de forma contínua, e geralmente move-se devagar e de forma nem sempre contínua. Um fator determinante na coleta dos *sinks* móveis, é sua mobilidade. Dentro dessa área vários artigos foram publicados focando em três tipos mobilidades: Aleatória, pré-determinada ou determinística e a mobilidade controlada, sendo esta última bastante estudada gerando soluções que visam o melhor controle de movimentação dos nós *sinks*.

Nesta dissertação opta-se por utilizar um modelo híbrido onde existem nós estáticos e nós móveis com uma mobilidade aleatória coletando e processando as informações. Esse tipo de solução mostrou-se eficiente na coleta de dados, como podemos ver em [Wang et al., 2011], que propôs um modelo semelhante de rede híbrida de nós estáticos e móveis com um modelo de mobilidade aleatório, e mostrou que um pequeno conjunto de de nós sensores móveis podem efetivamente tratar a desigualdade de distribuição dos nós estáticos e melhorar a qualidade da cobertura da área. Outro trabalho que

fortalece nossa escolha, é o artigo [Wang et al., 2011], onde foram estudados aspectos dinâmicos na área de cobertura de uma RSSF que dependem de movimento contínuo dos nós sensores. Comparadas as redes de sensores estáticas, eles também mostraram que nós móveis seguindo uma movimentação aleatória podem compensar a falta de sensores e melhorar o campo de cobertura.

2.1.2 Cobertura

Em telecomunicações, utilizamos o termo cobertura, para definir a área geográfica em que um serviço é disponibilizado. Em nosso trabalho, definimos a cobertura como a área geográfica em que os nós sensores podem coletar dados e eventos, ou seja, sua área de sensoriamento.

A métrica cobertura de sensores é definida por [Meguerdichian et al., 2001], chamada de *surveillance* que pode ser utilizada para medir a qualidade de um serviço prestado por uma RSSF, nesse trabalho, algoritmos centralizados e ótimos são executados em tempos polinomiais para avaliar se os caminhos da rede são os melhores e mais cobertos em uma rede de sensores. O trabalho [Koushanfar et al., 2001] também utiliza a cobertura como métrica, e investiga de que maneira um alvo pode ser monitorado por um sensor móvel, por um período de tempo, enquanto se move entre caminhos arbitrários com uma velocidade também arbitrária em RSSFs. Em outro trabalho são propostos algoritmos de localização, e utilizam a cobertura para definirem os menores caminhos de exibição [Slijepcevic et al., 2001].

Como vimos, a cobertura tem sido utilizada em vários trabalhos da literatura como métrica e também auxiliando nas soluções, principalmente em RSSFs. A cobertura foi escolhida como métrica em nosso trabalho. Em nossa aplicação, buscamos obter os dados da maior área coberta, pois consideramos que informações de eventos bem próximos podem gerar dados redundantes, diminuindo assim a eficiência de armazenamento dos nós sensores da rede.

2.1.3 Área de interseção de duas circunferências

A solução proposta pela dissertação é uma política de descarte baseada em cobertura, assim como dito no título da dissertação, o nosso foco é armazenar na MULA os nós com maior contribuição para cobertura. Para isso eliminamos o nó com a maior área de interseção, pois quanto maior a área de interseção, maior é a proximidade com outros nós sensores e portanto aumenta a chance desse nó sensor ter dados redundantes.

No problema de interseção de duas circunferências os seguintes casos podem ocorrer

rer, no primeiro caso, ilustrado na Figura 2.9 , a distância dos centros das circunferências é maior que a soma dos raios da circunferências, logo não existe interseção entre os nós sensores, portanto esses nós sensores não devem ter informações redundantes e por isso devem ser mantidos. No segundo caso, ilustrado na Figura 2.10, a distância dos centros é igual a soma dos raios das circunferências. Essa situação é parecida com a do primeiro caso, com a interseção igual a zero, as chances desses nós sensores terem dados relevantes é alta e portanto também deve ser mantidos sempre que possível. No terceiro caso, ilustrado na Figura 2.11, a soma das distância dos centros é menor que a soma dos raios das circunferências, é principalmente nesse caso que nossa política de descarte atua, e nós onde ocorre uma grande área de interseção, devem ser descartados.

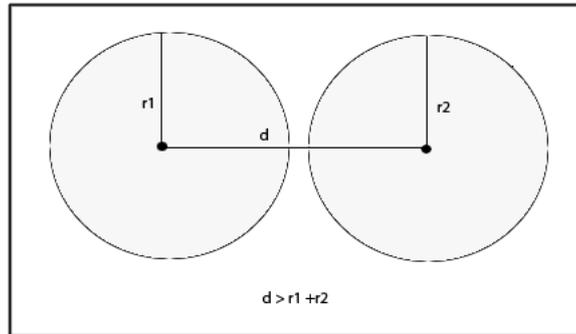


Figura 2.9. No primeiro caso, a distância dos centros das circunferências representada por d é maior que a soma dos raios r_1 e r_2 não havendo então área de interseção.

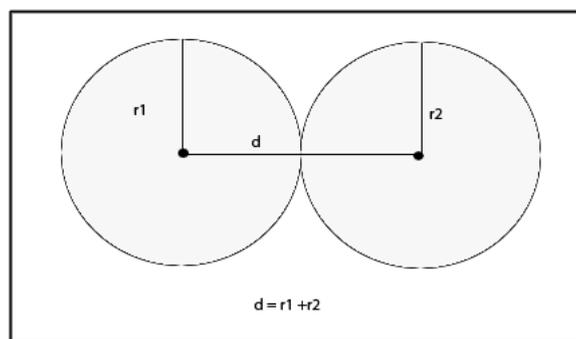


Figura 2.10. No segundo caso, a distância dos centros das circunferências representada por d é igual que a soma dos raios r_1 e r_2 não havendo então área de interseção.

Podemos ver o detalhamento do terceiro caso, ilustrado na Figura 2.11, em nosso caso sempre os nós terão o mesmo raio de comunicação e sensoriamento.

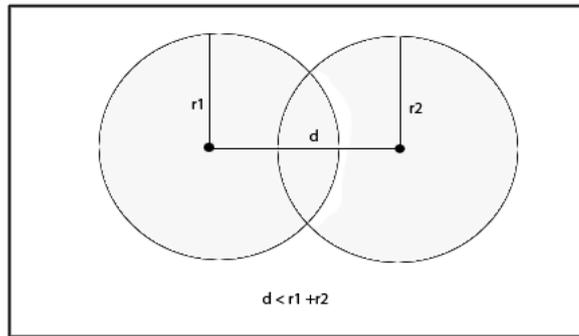


Figura 2.11. No terceiro caso, a distância dos centros das circunferências representada por d é menor que a soma dos raios $r1$ e $r2$ havendo então área de interseção.

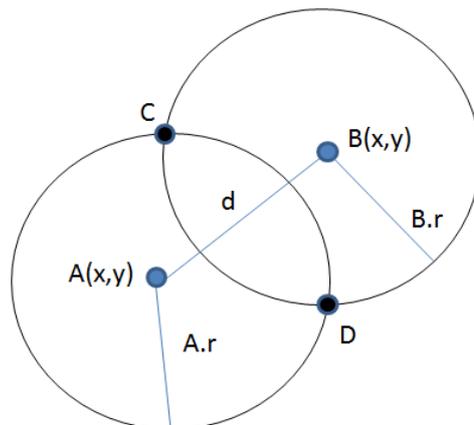


Figura 2.12. Figura que representa a interseção de dois nós A e B , onde d é a distância entre os nós, $A.r$ e $B.r$ são seus raios de sensoriamento e C e D são os pontos de interseção entre o raios de sensoriamento dos nós A e B .

No primeiro e segundo caso a interseção área será $Area \leq 0$. No terceiro caso, que é onde nossa política atua principalmente, para obtermos a área de interseção entre duas circunferências, podemos utilizar a Equação 2.1.

$$I = 2(A + B)$$

$$A = \frac{\alpha_1}{180} \left(\frac{\pi_1^2}{2} \right) - \frac{1}{2} (r \cos \alpha_1)(r \sin \alpha_1)$$

$$B = \frac{\alpha_2}{180} \left(\frac{\pi_2^2}{2} \right) - \frac{1}{2} (r \cos \alpha_2)(r \sin \alpha_2) \quad (2.1)$$

$$I = 2 \left[\frac{r^2}{2} \left(\frac{\alpha_1 \pi}{180} - \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \right) + \frac{r^2}{2} \left(\frac{\alpha_2 \pi}{180} - \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \right) \right]$$

$$I = r_1^2 \left(\frac{\alpha_1 \pi}{180} - \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \right) + r_2^2 \left(\frac{\alpha_2 \pi}{180} - \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \right)$$

A e B representam as circunferência da Figura 2.12 e I é a área de interseção entre elas, r representa os raios (na solução proposta são iguais) das circunferências, d é a distância entre os centros das circunferências, α_1 é ângulo do triângulo formado entre o centro da circunferência A e os pontos C e D , e α_2 é ângulo do triângulo formado entre o centro da circunferência B e os pontos C e D .

2.2 Redes DTNs

Redes DTNs originalmente surgiram para realizarem transferências de informações em locais com uma conexão de dados limitada e com grandes atrasos [Fall & Farrell, 2008].

A nomenclatura desse modelo de rede é discutida por vários autores, e muitos têm dado diferentes denominações a esta nova tecnologia de redes, tais quais, redes com conexão disruptiva, redes com conectividade eventual, redes móveis parcialmente conectadas, redes desconectadas, redes com conectividade transiente, redes incomuns, redes extremas e mais recentemente redes com desafios [Zhao et al., 2006].

Redes Tolerantes a atrasos e Desconexões, mais conhecidas como redes DTNs, são uma arquitetura de rede criada para prover comunicação em ambientes instáveis, principalmente sofrendo com grandes atrasos e desconexões na comunicação [Cerf et al., 2007]. Inicialmente foram criadas para a realização de comunicação, onde perda de conexão e atrasos na comunicação acontecem com frequência, para realizar a comunicação nesses cenários, foram desenvolvidas técnicas *store-forward* para o roteamento de mensagens. Esse modelo de rede veio ocupar as lacunas de redes tradicionais dei-

xam, porque simplesmente não funcionam em ambientes onde existem grandes desafios nas comunicações, principalmente por não realizarem um tratamento quando ocorrem falhas operacionais, por exemplo, uma órbita em torno de Marte não pode utilizar os protocolos padrão da internet, devido à latência envolvida. Contudo, até na Terra os usuários, por vezes, ficam sem acesso a qualquer tipo de rede de comunicação quer seja por razões físicas ou econômicas. Na Figura 2.13 ilustra um cenário de aplicação de uma rede DTN.

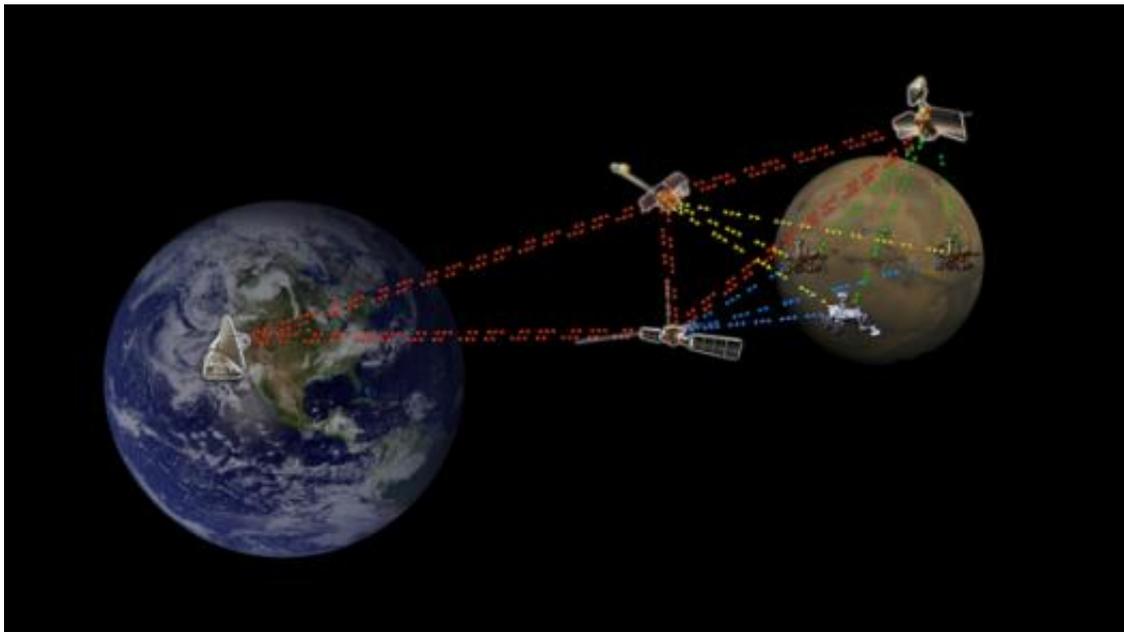


Figura 2.13. Um exemplo de aplicação de uma rede DTN. Uma rede interplanetária sofrendo desconexões causadas pela órbita dos satélites.

Fonte: NASA/JPL

O principal protocolo para as DTNs é o protocolo denominado *bundle* (pacote) [Cerf et al., 2007], assim, como o nome sugere, *bundle* é a denominação dada ao conjunto de dados de aplicações e de controle de informação inseridos em um mesmo pacote. Assim aproveitando-se deste recurso e protocolo, as comunicações envolvendo áreas remotas não requerem múltiplas idas e voltas antes dos dados de aplicação serem transferidos.

Outro conceito importante é o contato. Um contato é o momento que dois nós definidos pelas redes DTN se encontram na rede, uma oportunidade para ocorrer uma transmissão de dados [Jain et al., 2004]. Os contatos podem ser classificados de cinco maneiras:

- Contato persistente: são contatos que estão sempre disponíveis. O nó pode enviar a mensagem a qualquer momento que houver necessidade.

- Contato sob demanda: esse tipo de contato necessita que em algum momento uma ação seja tomada com o objetivo de instanciar o contato. Depois de estabelecido, passa a se comportar como um contato persistente.
- Contato previsível: nesse tipo de contato os nós os fazem previsões acerca do horário do contato conforme históricos armazenados de contatos passados.
- Contato oportunista: são contatos que ocorrem ao acaso, sem que haja prévia programação do contato.
- Contato programado: tipo de contato no qual o momento e a duração do contato são pré-estabelecidos.

A criação das DTNs ocorreu devido a esforços a fim de garantir o estabelecimento de uma interplanetária. Entretanto, a utilização das características dessas redes podem ser aplicadas em diversos problemas de comunicação em redes terrestres, como por exemplo, em redes assíncronas e que possuem uma grande variação na entrega de informações [Salvador et al., 2011].

A tecnologia DTN encontra-se em um estado de amadurecimento, já existem referências de implementações disponíveis (*open-source*) para se começar a realizar modestas instalações, em locais onde as redes tradicionais não são apropriadas existindo muitas desconexões, gerando perda de informação, para esses ambientes o uso de DTNS são uma ótima alternativa. Destas pequenas implementações, espera-se que o conhecimento DTN possa cumprir a promessa de se tornar um padrão da Internet do futuro.

2.2.1 Os contatos oportunistas

Os contatos oportunistas ocorrem diante de encontros não previamente programados entre os nós. Esse tipo de contato tem como objetivo obter vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso para realizar a comunicação com qualquer nó que esteja fora do alcance de um nó fonte. Assim, utiliza-se a capacidade dos nós se comunicarem localmente com os seus vizinhos para criar possibilidades de comunicação com outros nós que estão fora do alcance. Esta é uma característica inédita que não existe similar na Internet convencional. O conceito de contato oportunista permite comunicação entre nós na qual em nenhum momento existe um caminho inteiramente conectado entre eles, o que inviabiliza a comunicação na Internet convencional. Geralmente, os nós que estabelecem contatos oportunistas desconhecem qualquer informação acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós. Além disso,



Figura 2.14. Exemplo de possíveis MULAs que fazem contato oportunista.

Fonte: Projeto Ferramenta Cognitiva para a Amazônia (Cognitus), da Universidade Federal do Amazonas e da Petrobras

estes nós são autônomos, o que significa que cada nó possui um controle independente de si mesmo e de seus movimentos.

- Ocorrem diante de encontros não previamente programados
- Obtêm vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso
- Nós desconhecem informações acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós

Nesta dissertação utilizamos o contato oportunista [Eisenman et al., 2008], as MULAs podem ou não encontrar com os nós sensores, mas caso ocorra tal encontro é necessário que a coleta de dados seja feita. Esse tipo de coleta é o ideal para nossa aplicação pois não podemos prever quando ocorrerá esse encontro para efetuar a coleta, então não temos como programar as MULAs e os nós sensores precisamente para realizar a comunicação. Esse tipo de comunicação é feita por nós que quase nunca conhecem o estado ou padrão de mobilidade de outros nós na rede. A Figura 2.14 ilustra exemplos de possíveis MULAs.

2.2.2 Modelos de roteamento

As redes DTNs são dinâmicas, sua topologia pode sofrer alterações durante a vida útil da rede, um dos principais desafios é estabelecer protocolos de roteamento eficientes,

pois esse tipo de rede sofre com grandes atrasos e desconexões. Protocolos propostos para esse tipo de rede, devem ser tolerantes a essas falhas. E ainda dentro deste contexto temos que saber qual é o cenário de nossa aplicação, a seguir detalhamos dois possíveis cenários de roteamento, o cenário determinístico e o estocástico, no primeiro sabemos quando os nós realizam contato, no segundo não é possível ter esse conhecimento, abaixo detalhamos estes dois cenários.

- O Cenário Determinístico : Seja uma rede, em que todos os nós realizam contatos de forma determinística temos então um cenário determinístico, isto é, a rede tem conhecimento de quando são realizados os contatos, e também conhecimento sobre a topologia da rede em qualquer instante de tempo. Sabendo essas informações da rede, é possível uma modelagem de um grafo temporal em que os vértices são os nós da rede e os arcos são as conexões de comunicação aos quais são associados tempos de existência. Sendo assim, a tarefa do algoritmo de roteamento é encontrar um caminho entre dois nós neste grafo. Em geral, o algoritmo procura um caminho da origem até o destino que minimize alguma métrica definida, como por exemplo, o atraso ou o número de conexões no caminho. O caminho com o menor número de conexões, ou menor número de saltos, é chamado o caminho mais curto entre dois nós da rede.
- O Cenário Estocástico : Diferente do cenário determinístico, no cenário estocástico não é possível saber o comportamento da rede. Portanto, não podemos utilizar esses comportamentos para calcular caminhos de forma exata em cenários estocásticos. Em algumas redes, os nós não possuem nenhuma informação sobre o estado da rede, o que impossibilita cálculo dos melhores caminhos. Nesse caso, o algoritmo mais simples é enviar para todos os vizinhos a mensagem, confiando na mobilidade dos nós para disseminar as mensagens em direção ao destinatário. Quanto mais nós existirem na rede, maior é a chance do destino ser alcançado em um menor tempo. As principais desvantagens são o alto custo em termos do número de retransmissões e o consumo dos recursos dos nós.

Como dito anteriormente um dos principais fatores a considerar em uma rede é o roteamento, a transmissão dos dados pela rede devem considerar a topologia e confiabilidade com que os dados são transmitidos. Em geral, a maior parte dos algoritmos de roteamento são para o tratamento de endereçamento como podemos ver nos trabalhos: [Oliveira & Albuquerque, 2009] e [Sandulescu et al., 2008]. A seguir, serão apresentados alguns protocolos de roteamento e suas principais métricas de avaliação.

- Entrega Direta (*Direct Delivery*) : Nesse protocolo o nó origem entrega a mensagem somente se o nó for o destino da mensagem [Spyropoulos et al., 2004]. Esta política de roteamento não gera mensagens redundantes porém sua taxa de entrega é menor do que algoritmos que fazem inundações na rede.
- Protocolo Profeta (*PROPHET*) : O PROPHET é um protocolo de roteamento probabilístico [Lindgren et al., 2003]. O protocolo faz uso do histórico de encontros de conexões anteriores, criando uma métrica de previsão de entrega que indica o quanto um nó é capaz de realizar a entrega da mensagem ao seu destino. Quando dois nós se encontram, eles trocam seus índices que contém as informações de previsão de entrega, baseado nessas informações é decidido qual mensagem encaminhar. Esta política de roteamento é interessante pois se adapta ao meio, buscando sempre enviar a informação para o nó que possui o melhor histórico de entrega, uma desvantagem é que necessita registrar as entregas anteriores.
- Primeiro Contato (*First Contact*) : Nesse protocolo a mensagem é transmitida através de um único caminho, selecionando um nó de forma aleatória conforme disponibilidade de conexão. Esta política é interessante para reconhecimento de redes, por exemplo, quando uma MULA necessita reconhecer uma rede é enviado um mensagem para estabelecer o primeiro contato entre a MULA e um nó sensor sem gerar muitas mensagens de redundância.
- Epidêmico (*Epidemic*) : É um protocolo de roteamento em que faz uma inundação na rede, a mensagem que chega a um nó sensor é encaminhada para todos os seus vizinhos [Vahdat et al., 2000]. Esta política é interessante pois tem uma alta taxa de entrega, uma possível aplicação seria o envio de mensagens que precisam ser entregues a seu destino rapidamente e com uma alta probabilidade de sucesso. Desvantagem é a geração de muita redundância das mensagens aumentando o desperdício de recursos da rede.
- *Spray and Wait* : É um protocolo de roteamento que consiste em duas etapas, na primeira para cada mensagem originada por um nó fonte, uma mensagem é copiada e inicialmente espalhada, encaminhada pela fonte e possivelmente outros nós recebem uma cópia. Na fase seguinte, de espera, se o destino não é encontrado na primeira fase *spray*, cada um dos nós carregam uma cópia da mensagem para realização de uma transmissão direta [Xue et al., 2009].

Em nosso trabalho, adotamos o modelo de roteamento de Entrega Direta, isso se deve pelo fato de utilizarmos MULAs capazes de se movimentarem através da rede coletando os dados diretamente dos nós sensores, diminuindo assim a necessidade de que os nós estáticos façam a requisição de dados da rede para enviar informações a uma estação base, evitando um maior número de mensagens enviadas caso outro modelo de roteamento fosse adotado.

2.2.3 Modelos de mobilidade

A interação dos nós é outro fator fundamental em redes DTN/RSSF . A mobilidade é de grande importância e impacto na coleta de informações e de como os dados são transmitidos. Trabalhos que estudam a melhor a mobilidade para diferentes cenários são descritos nas seções seguintes.

- *Random-Way-Point* : Neste modelo os nós escolhem aleatoriamente uma velocidade e um destino deslocando-se em linha reta .O que caracteriza este modelo é sua independência temporal, ou seja a não existência de memória. Assim, tanto o módulo quanto a direção da velocidade de um nó, num determinado instante do tempo, independe dos valores anteriores. Este fato torna o modelo pouco realístico devido a mudanças abruptas na direção, sentido e velocidade durante sua movimentação. Na literatura são encontradas diversas modificações deste modelo que visam torná-lo mais realístico sem aumentar sua complexidade de implementação. Uma abordagem, usada em [Basagni et al., 1998], é simplesmente manter a aceleração valendo zero e variar apenas a direção da velocidade.

Outro artigo sugere que os nós móveis percorram um caminho formado por vários segmentos, onde o tamanho de cada segmento obedece a uma distribuição exponencial, sua direção é obtida aleatoriamente e sua velocidade é uniformemente distribuída num intervalo dado [Ko & Vaidya, 2000].

- *Gauss-Markov* : Um modelo que utiliza parâmetros para variar o grau de aleatoriedade no padrão de mobilidade como citado no trabalho [Liang & Haas, 2003]. O modelo de mobilidade Gauss-Markov foi desenvolvido para dar uma maior adaptabilidade, ao modelo Markoviano de Percurso Aleatório como em [Chiang & Gerla, 1998]. Em sua inicialização cada nó móvel recebe uma velocidade e direção, que variam a cada momento, segundo um processo de Markov.
- *Levy-Walk* : Esse modelo de mobilidade foi baseado em traces gerados por 226 GPS em 101 voluntários. E mostra como a mobilidade humana tem tendências,

possuindo uma área predefinidas de mobilidade [Rhee et al., 2011].

- Modelo de Mobilidade Baseado em Cidades (*City Section Mobility Model*) : Outro modelo de mobilidade importante é o City Section Mobility Model, que busca simular os bairros de uma cidade que possui uma rede como citado no trabalho [Camp et al., 2002]. Assim cada nó móvel pode se movimentar, pelas ruas da cidade, limitados por um valor máximo de velocidade e dentro de uma área pré-definida. A cada iteração o nó escolhe um ponto aleatório desta área e move-se até ele através do caminho mais curto.
- *Correlated Random Walk* : Em um modelo de mobilidade aleatório como o *Random-Way-Point*, a escolha da direção a cada passo não está relacionado com a direção do passo anterior, isso faz com que possa existir uma mobilidade com mudanças drásticas de direção, o que não ocorre sempre em situações reais. Utilizando o modelo de mobilidade correlacionado é possível estabelecer essa relação, fazendo que a mudança de direção seja mais gradual refletindo melhor a realidade [Kareiva & Shigesada, 1983], essa relação é feita determinando o ângulo de direção entre um passo atual e o seguinte, a seguir podemos ver como o a mobilidade correlacionada funciona.
 - Suponha um passo i tendo uma direção θ_i
 - Escolha um ângulo $\delta\theta$ de forma aleatória
 - Então o passo $i + 1$ terá direção $\theta_{i+1} = \theta_i + \delta\theta$.
- *A Boundless Simulation Area Mobility Model*: Esse modelo estabelece uma relação entre uma direção anterior e velocidade de um nó móvel de uma viagem anterior com é a direção e velocidade atual, evitando comportamentos não naturais [Haas, 1997].
- Modelos de Mobilidade Baseados em Redes Sociais : Nesta seção, abordaremos alguns modelos de mobilidade recentemente desenvolvidos, [Musolesi & Mascolo, 2007]. Modelos de Mobilidade Baseados em Redes Sociais são construídos através da simples observação. Em redes móveis, dispositivos são geralmente carregados por humanos, então os movimentos desses dispositivos são feitos por decisão social do humano que porta esse dispositivo. Várias tentativas de modelagem falharam ao tentarem capturarem essa dimensão social [Camp et al., 2002].

A modelagem dessas relações e suas implicações para a mobilidade humana são parâmetros de grande importância, para realização de teste em protocolos

e sistemas que exploram os limites da estrutura social como citado no artigo [Daly & Haahr, 2007] e também pode ser encontrado em [Costa et al., 2008].

Como podemos ver em [Wang et al., 2011] uma rede híbrida de nós estáticos com um modelo de mobilidade aleatório, mostrou que um pequeno conjunto de nós sensores podem efetivamente tratar a desigualdade de distribuição dos nós estáticos e melhorar a qualidade da cobertura da área. Foi baseado nesse trabalho que decidimos por utilizar MULAs com uma mobilidade aleatória, pois uma quantidade mesmo que pequena de nós móveis em uma rede com nós estáticos tem um desempenho melhor em relação a cobertura na coleta de dados.

2.3 Trabalhos relacionados

Nesta dissertação, propomos uma política para descarte de pacotes, onde o objetivo é manter em *buffer*, os pacotes cujo conteúdo seja mais relevante para a aplicação, diversos autores abordaram o tema e trataram desafios de forma relacionada, então aqui apresentamos as principais políticas de descartes disponíveis na literatura.

2.3.1 Políticas para descarte em *buffer* em DTNs

Nesta seção é apresentado políticas de gerenciamento de *buffers* em WNS e DTNs, tais políticas buscam melhorar o gerenciamento *buffer*, visando que as informações armazenadas tenham uma maior qualidade.

Apresentaremos estratégias utilizadas para tratar o descarte de pacotes, essas políticas de descartes são aplicadas para decidir quais informações devem permanecer no *buffer*, ou seja, se novas informações devem tomar o lugar de antigas que estejam na memória. As políticas de descartes encontradas na literatura são propostas principalmente para nós estáticos da rede, diferente de nossa proposta que tem como foco o gerenciamento do *buffer* da MULA, aproveitando de sua mobilidade para melhorar o resultado final da coleta.

- **Descarte o último** [Lindgren & Phanse, 2006] : Uma política de descarte bem intuitiva, fácil de ser implantada, e que consiste basicamente em eliminar a última mensagem recebida. Esta política sugere que dados antigos são mais importantes que os novos, e que os novos podem ter outras oportunidades de comunicação depois.

- **Descarte o primeiro** [Lindgren & Phanse, 2006] : Uma política também bem intuitiva, consistindo em eliminar a primeira informação recebida. Esta política sugere que dados antigos já não representam a necessidade de comunicação.
- **Descarte baseado no número de encaminhamentos** : Essa política de descarte elimina a mensagem que foi encaminhada mais vezes [Li et al., 2009] [Lindgren & Phanse, 2006], essas informações que foram mais vezes encaminhadas tem maior probabilidade de ter uma cópia ou já terem chegado ao seu destino. Essa política é mais difícil de ser implantada, pois exige o controle do número de encaminhamentos na rede. Uma outra política que utiliza o número de encaminhamento para fazer o descarte é o protocolo chamado MOFO (Evict most forwarded first) [Lindgren & Phanse, 2006]. Em uma tentativa de maximizar a dispersão de mensagens através da rede, essa política necessita que o agente de roteamento mantenha guardado o número de vezes que cada mensagem tenha sido encaminhada. A mensagem com o maior número de encaminhamentos será a primeira a ser descartada, dando assim maior oportunidade para mensagens que foram encaminhadas poucas vezes de serem transmitidas. A mensagem com o menor número de encaminhamentos será a primeira a ser descartada, dando assim maior oportunidade para mensagens que foram encaminhadas poucas vezes de serem transmitidas.
- **Descarte baseado no tamanho da informação** : Política que consiste em descartar baseado no tamanho das informações do *buffer*. Descarta a informação que tem o maior tamanho [Rashid et al., 2011] ou menor tamanho, ou ainda, elimina a informação que tem um tamanho predeterminado [Rashid et al., 2011]. Focam na taxa de utilização do *buffer* para decidir sobre o descarte.
- **Descarte baseado no tempo de vida** : A mensagem que contém o menor tempo de vida restante será descartada [Lindgren & Phanse, 2006]. Sugere que uma mensagem com um tempo de vida curto já está na rede a tempo suficiente e tem maior probabilidade de ter sido entregue a seu destino.
- **Descarte baseado no conhecimento global da rede** : Na política o descarte é baseado em disseminação de mensagens por encontros [Krifa et al., 2008] . A ideia é utilizar as informações dos encontros e estatística de aprendizado, através de um algoritmo distribuído, para aproximar o conhecimento global necessário. Os resultados obtidos apresentam uma melhoria na taxa de entrega média e no atraso na entrega. Como um conhecimento global da rede é necessário, torna-se de difícil implementação

- **Descarte baseado na redundância de informação:** A mensagem mais redundantes será descartada [Chai et al., 2006]. Basicamente, uma fila virtual de armazenamento é criada, contendo os cabeçalhos dos pacotes recentemente transmitidos. Assumindo que os cabeçalhos são somente uma pequena fração do tamanho total do pacote, a fila virtual, permite um nó armazenar esse histórico de transmissões com o mínimo desperdício de memória, sendo que estes cabeçalhos contém a informações necessárias para definir qual pacote pode ser descartado.
- **Descarte baseado na classificação de pacotes:** A política proposta por [Shwe et al., 2010] consiste em eliminar a mensagem conforme a sua classificação no *buffer*. É realizada uma classificação do tipo de mensagem, tais mensagens são classificadas em *normais*, *relevantes* e *irrelevantes*. Essa classificação é criada no *buffer* utilizando três filas distintas, cada uma correspondendo ao tipo de mensagem, como ilustrado na Figura 2.15. Os pacotes recebidos sempre serão colocados em sua respectiva fila quando o *buffer* não estiver cheio, e a política de descarte é invocada quando este estiver cheio. Se o pacote recebido é do tipo normal e existe alguns pacotes na fila dos pacotes *normais*, então o pacote mais antigo na fila é substituído. Caso não exista nenhum pacote na fila dos pacotes normais, a política simplesmente descarta o pacote recebido. Agora, caso o pacote recebido seja relevante ele descarta um pacote relevante para receber o novo pacote.

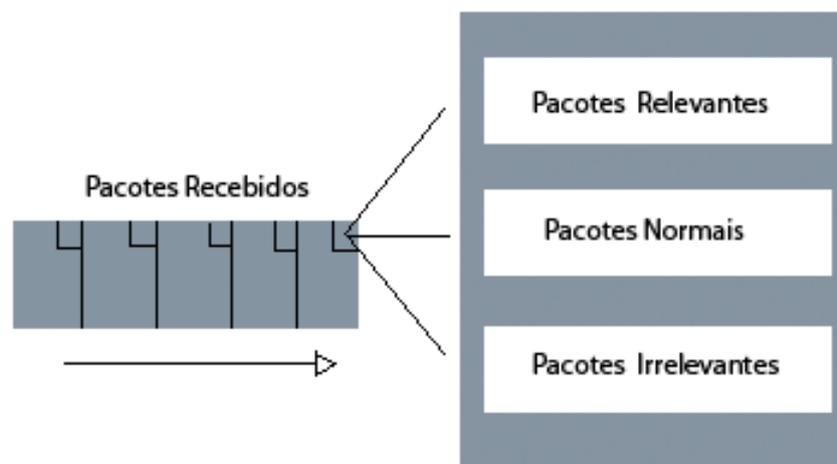


Figura 2.15. Exemplo de particionamento do *buffer* baseado no tipo de pacote.

- **Descarte baseado na relação social**

Segundo [Souza & Mota, 2012] no caso de *overflow* no *buffer*, a política inicia um procedimento de verificação para identificar que mensagem deve ser retirada do *buffer*. No entanto, primeiramente é verificado se a mensagem candidata a entrar no *buffer* é destinada a algum usuário com quem o usuário atual tem alguma relação social, como podemos ver na Tabela 2.1. Se sim, o algoritmo seleciona a mensagem presente no *buffer* destinada ao usuário *menos conhecido*, ou seja, o usuário com quem ele mantém a menor relação social. Se existir empate nessa escolha, o algoritmo seleciona para descartar a mensagem de maior tamanho. Caso o empate persista, o algoritmo descarta a primeira dessas mensagens encontrada no *buffer*.

Relação social	Valor adotado
Família	5
Amigos próximos	4
Amigos distantes	3
Conhecidos	2
Desconhecidos	1

Tabela 2.1. Relações sociais adotadas

Em nossa proposta, utiliza-se dados fornecidos pela rede, coordenadas de localização, para obter uma melhor cobertura na hora do descarte. As políticas tradicionais, como as que descartam o último ou primeiro pacote, e também as que descartam pacotes de forma aleatória não fazem verificação de pacotes, podendo assim fazer o descarte de pacotes importantes para a aplicação da rede, pois não consideram quais são os pacotes mais relevantes.

A utilização de políticas baseadas no número encaminhamentos para realizar o descarte, em nosso cenário é inviável pois os nós nem sempre estarão próximos uns dos outros para realizar o encaminhamento de pacotes, a coleta desses pacotes seria realizada pela MULA que se deslocaria até o raio de comunicação do nó para receber o pacote descartando assim a necessidade de encaminhar as informações pela rede.

Capítulo 3

Uma Política de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP)

Neste capítulo, detalhamos o problema de descarte de pacotes que ocorre quando existe um grande volume de informação na rede, saturando o *buffer* de um nó coletor, forçando-o a descartar informações já armazenadas caso decida armazenar novas informações, esta saturação de informação é chamada de *buffer overflow*. A solução deste problema é proposta e avaliada neste capítulo, solução esta que se mostrou eficiente nos cenários avaliados, como mostraremos nas seções seguintes, através de resultados obtidos em simulações. A política CBDP foi comparada com alguns algoritmos tradicionais para descarte de pacotes em redes tolerantes a desconexões e se mostrou superior nos quesitos avaliados.

3.1 Descrição do problema e solução

Com o avanço da tecnologia, o volume de informação transmitida através das redes aumentam e com isso geram uma necessidade de otimizar o armazenamento dessas informações. A qualidade de imagem capturada por uma câmera digital evoluiu muito nos últimos anos, aumentando assim a precisão e qualidade dessa imagem, representando melhor a realidade, no entanto esse avanço gerou um desafio: a demanda por espaço para armazenar essas informações. Para este problema, vimos na seção de trabalhos relacionados, várias pesquisas buscando maneiras de otimizar os *buffers* para ter o máximo de informação armazenada. Um ponto importante que observamos, trata-se de propostas de descartes considerando as informações de forma homogênea, tal abordagem considera que as informações coletadas possuem a mesma relevância para aplicação. Essa alternativa não representa bem a realidade, pois algumas informações

podem ter maior valor do que outras, e por isso notamos que é necessário atribuir pesos para cada informação. Desta forma, poderemos armazenar a maior quantidade de dados relevantes possíveis para a aplicação, para isso é necessário realizar uma seleção do que se deve armazenar, e é neste ponto que nosso protocolo de descarte entra, sendo uma proposta de descarte baseada em cobertura, métrica bastante difundida na área de redes, como peso para cada informação coletada.

Neste trabalho, o objetivo da solução proposta é manter no *buffer* as informações mais relevantes para fins de sensoriamento, considerando MULAs e redes em grande escala. O problema surge quando temos coletores com memória limitada, e os dados coletados podem ser redundantes devido a sobreposição espacial ou temporal. Do ponto de vista da aplicação de monitoramento, é preferível ter a informação de diferentes locais, visando a cobertura de sensoriamento, ao invés de uma grande quantidade de informação de apenas alguns locais. Assim, essa característica é considerada por nossa política de descarte das MULAs.

Basicamente, a solução proposta é baseada nas coordenadas dos nós para realizar a estimativa de cobertura em pacotes de informações existentes. Sempre que a MULA receber um pacote de um nó sensor, é estimada a área de cobertura entre o nó com a nova informação e todos os outros nós com informações armazenadas no *buffer*. Se o *buffer* estiver cheio, essa área estimada é comparada com todas as áreas de interseção dos nós que já estão no *buffer*, e a informação do nó com a maior área de interseção é descartada. Um exemplo é ilustrado na Figura 3.1. Em outras palavras, esse procedimento leva a maior cobertura global possível. A política de descarte desenvolvida parte do princípio de que as informações tem diferentes graus de importância e por isso é necessário atribuir um peso para cada informação coletada, em nosso contexto atribuímos que um pacote coletado por um nó sensor que está geograficamente mais distante de outros nós sensores da rede é mais importante do que o pacote de um nó próximo a vários nós sensores. Esse critério foi adotado seguindo o princípio de que nós sensores próximos têm maior probabilidade de coletarem informações iguais, gerando redundância de informação. A redundância de informação em nosso contexto é desvantajosa, pois sobrecarregaria o *buffer* da MULA, e caso o volume de informação da rede seja muito grande, pode ocorrer da MULA não ter espaço suficiente em seu *buffer* para coletar todos os pacotes dos nós sensores visitados, ocorrendo em *overflow* de informação no *buffer* da MULA. E neste caso, nossa política de descarte é acionada pela MULA, decidindo quais pacotes ficarão em seu *buffer*. A MULA ao receber uma nova informação, irá avaliar se aquele nó, em seu raio de comunicação, tem uma informação relevante, ou seja, pertença a um nó sensor com uma área de interseção nula ou menor que as dos nós sensores que tiveram suas informações já armazenadas no *buffer*

da MULA, e então é realizado o descarte escolhendo a informação que tem o menor peso.

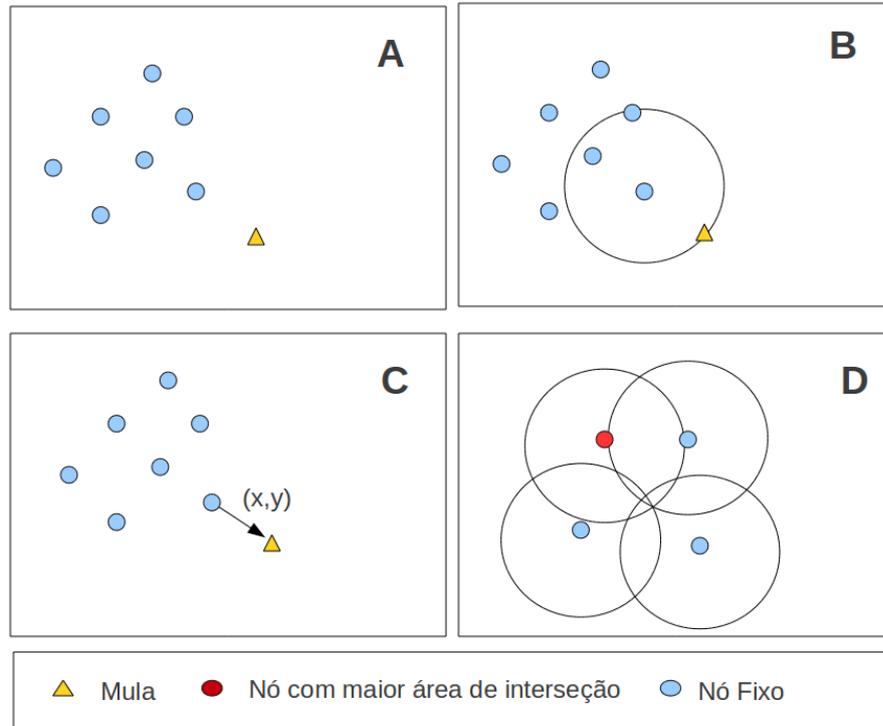


Figura 3.1. Funcionamento da rede (a) Rede com 7 nós fixos e uma MULA (b) MULA entra no raio de comunicação do nó sensor (c) Nó sensor envia sua localização para MULA (d) A MULA compara a localização recebida com as informações existentes em seu *buffer* e descarta a informação do nó com a maior área de interseção.

A política de gerenciamento de *buffer* é detalhada no Algoritmo 1. São utilizadas as seguintes variáveis: Cof_B é o coeficiente que representa a maior área de interseção dos nós presentes no *buffer* da MULA; Aux é uma variável auxiliar; Cof_N representa a área de interseção de um novo nó detectado pela MULA; pos armazena a posição do nó com o maior coeficiente no *buffer* da MULA; B representa o *buffer* como um vetor de nós sensores; $NewNode$ é o último nó detectado pela MULA. O algoritmo usa a função $AI(x_a, y_a, r_a, x_b, y_b, r_b)$ que retorna a área de interseção entre dois nós. Os parâmetros x_a, y_a, x_b, y_b , são coordenadas cartesianas dos nós sensores e r_a, r_b são os raios de comunicação dos nós sensores.

A função AI apresentada no Algoritmo 1 é detalhada a seguir no Algoritmo 2 são utilizadas as seguintes variáveis: A, B são estruturas que representam o nó sensor;

Algoritmo 1 Política de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP).

Require: $Cof_B = 0$, $Aux = 0$, $Cof_N = 0$, $pos = -1$, B , $NewNode$

Ensure: Posição do *buffer* que menos contribui para cobertura

```

for  $i = 0$  to  $N$   $i \leftarrow i + 1$  do
  for  $j = 0$  to  $N$   $j \leftarrow j + 1$  do
    if  $j \neq i$  then
       $Aux \leftarrow AI(B_i.x, B_i.y, B_i.r, B_j.x, B_j.y, B_j.r) + Aux$ 
    end if
  end for
  if  $Aux > Cof_B$  then
     $Cof_B \leftarrow Aux$ 
     $pos \leftarrow i$ 
  end if
   $Cof_N \leftarrow AI(B_i.x, B_i.y, B_i.r, NewNode.x, NewNode.y, NewNode.r) + Cof_N$ 
   $Aux \leftarrow 0$ 
end for
if  $Cof_N < Cof_B$  and  $pos > 0$  then
   $B_{(pos)} \leftarrow NewNode$ 
end if

```

$A.x, A.y, B.x, B.y$ são coordenadas cartesianas; $A.r, B.r$ são os raios de comunicação dos nós sensores; CBA, CBD, CAB, CAD são variáveis auxiliares e $area$ é variável que representa a área de interseção, esta função é o cálculo da área de interseção que detalhamos anteriormente entre duas circunferências que vimos na Equação 2.1 no Capítulo 2.

Algoritmo 2 Função AI (Área Interseção)

Require: $d = 0$, $A, B, A.r, B.r$

Ensure: A área de interseção entre os nós A e B

```

1: Function  $AI(A.x, A.y, A.r, B.x, B.y, B.r)$ 
2:  $d \leftarrow$  distância entre A e B
3:  $CBA \leftarrow ((A.r)^2 + (d)^2 - (B.r)^2) / (2 * A.r * d)$ 
4:  $CBD \leftarrow 2 * \cos(CBA)$ 
5:  $CAB \leftarrow ((B.r)^2 + (d)^2 - (A.r)^2) / (2 * B.r * d)$ 
6:  $CAD \leftarrow 2 * \cos(CAB)$ 
7:  $area \leftarrow (1/2 * CBD * (B.r)^2)$ 
8:  $area \leftarrow area - 1/2 * (B.r)^2 * \sin(CBD)$ 
9:  $area \leftarrow area + 1/2 * CAD * (A.r)^2$ 
10:  $area \leftarrow area - 1/2 * (A.r)^2 * \sin(CAD)$ 
11: return  $area$ 
12: end Function

```

3.2 Descrição do cenário

Simulações foram realizadas utilizando o simulador NS-2 na versão 2.34. Basicamente, cada cenário tem um número de nós fixos aleatoriamente posicionados em uma área de simulação fornecida. Uma MULA percorre a área de simulação com uma velocidade média durante o tempo de simulação. Tabela 3.1. mostra os parâmetros avaliados. Os nós de sensoriamento têm um raio de comunicação de 50m. Os pacotes têm 32 bytes, valores baseados nos nós Mica2 (TinyOS)[Mica2, 2004].

Área de Simulação	500mx500m
Tempo de Simulação	3600s
Nós Fixos	50,100,150,200,250,300
Posição inicial das MULAs	(250,250)
Velocidade da MULA	5m/s(18km/h)
Tamanho do <i>buffer</i>	10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
Raio de sensoriamento	50m
Raio de comunicação	50m
Banda	19.200bps
Tamanho do pacote	32 bytes

Tabela 3.1. Parâmetros de simulação.

Os nós móveis (MULAs) seguem o modelo de mobilidade *Correlated Random Walk* [Gillis, 1955] utilizando uma velocidade de 5m/s e a cada 3 passos será realizada uma movimentação, onde um passo é um ponto gerado. Essa movimentação permite fazer previsões quantitativas sobre a taxa de propagação de um organismo. Uma vez que um destino é alcançado, um outro ponto é escolhido da mesma forma. Os sensores fixos fazem a comunicação com a MULA utilizando o modelo de Entrega Direta (*Direct Delivery* [Basagni et al., 1998]). Nesse modelo, os nós origem entregam seus pacotes somente se o destino está no alcance do raio de comunicação, sem a geração de mensagens redundantes, i.e., cópias de pacotes.

3.3 Métricas

Foram avaliadas as seguintes métricas:

- **Cobertura Global (CG):** O percentual da área total coberta por todos os nós fixos na RSSF. Representa o limite superior da cobertura possível nas simulações.

- **Cobertura Possível (CP):** O percentual da área de simulação obtida pela MULA assumindo limitações de memória inexistente. Representa a máxima cobertura possível obtida pela MULA durante o tempo de simulação.
- **Cobertura de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP):** O percentual da área coberta pela MULA dado uma simulação com MULA tendo limitações no tamanho do *buffer*, número de nós e quantidade de MULAs.

3.3.1 Avaliação do tamanho do *buffer*

Um dos principais fatores que influenciam a área de cobertura é o tamanho do *buffer* da MULA, que limita o número de pacotes que ela pode armazenar. Esse fator foi avaliado utilizando apenas uma MULA em redes com 50, 100 e 150 nós, como é mostrado na Figura 3.2, Figura 3.3 e Figura 3.4. Esses gráficos comparam a cobertura obtida pelo CBDP com a Cobertura Possível (CP), e com as políticas: *Drop the First* (DF), *Drop the Last* (DL), e *Random Drop* (RANDOM). Em todos os casos, o número de nós fixos é o suficiente para atingir um cobertura global de 100%.

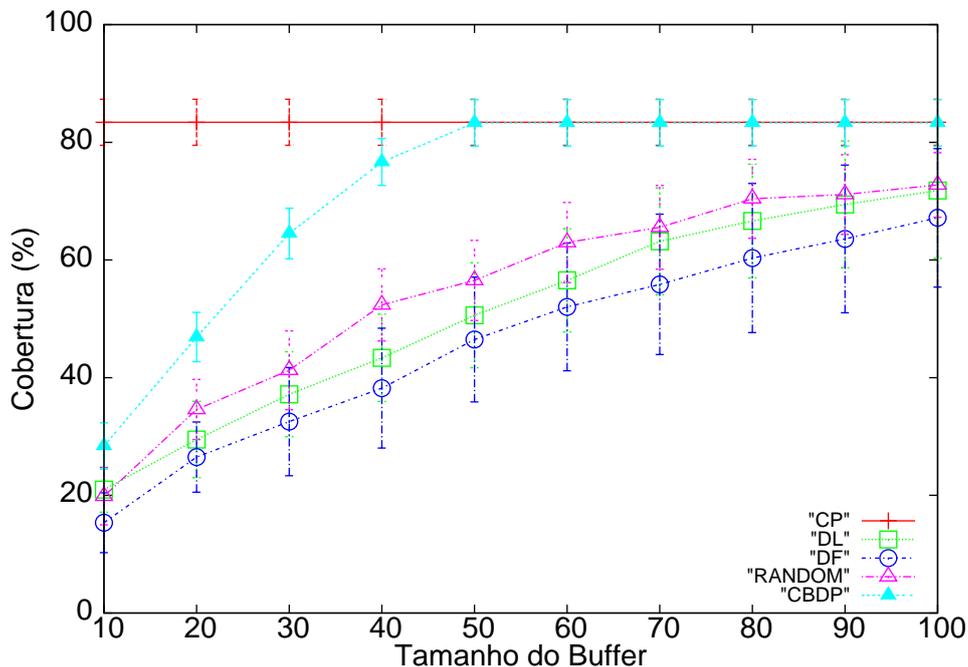


Figura 3.2. Impacto do tamanho do *buffer* em uma rede com 50 nós.

Como podemos ver nos gráficos desta seção, quando temos *buffer* pequenos, a solução proposta supera as outras soluções. Com o aumento do tamanho do *buffer*, todas as soluções tendem a ficar próximas da CP, que é a cobertura possível com *buffer* ilimitado. Para redes grandes, CBDP mantém seu desempenho acima de 60% mesmo

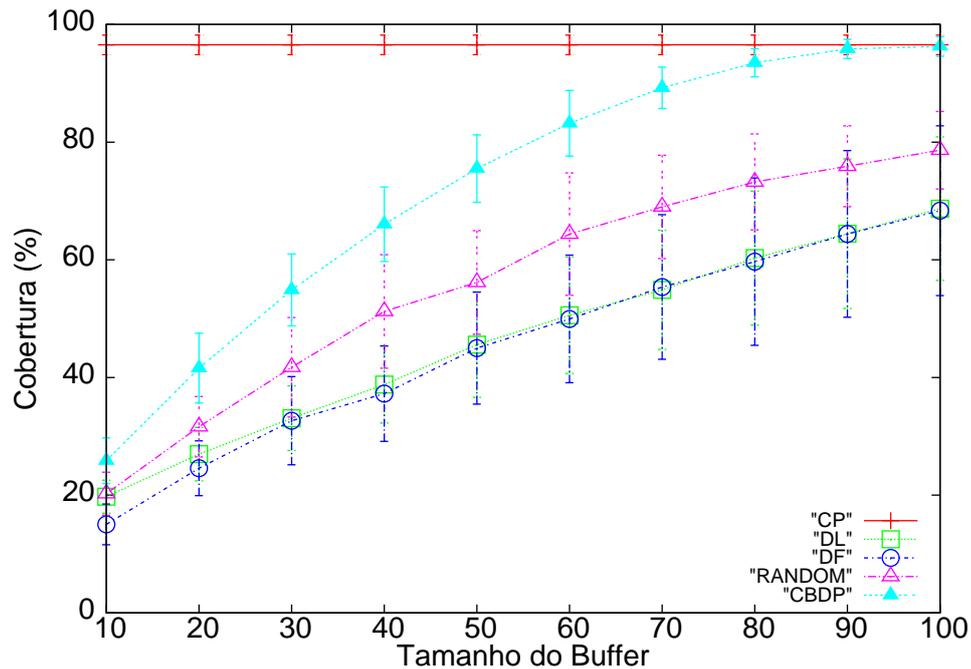


Figura 3.3. Impacto do tamanho do *buffer* em uma rede com 100 nós.

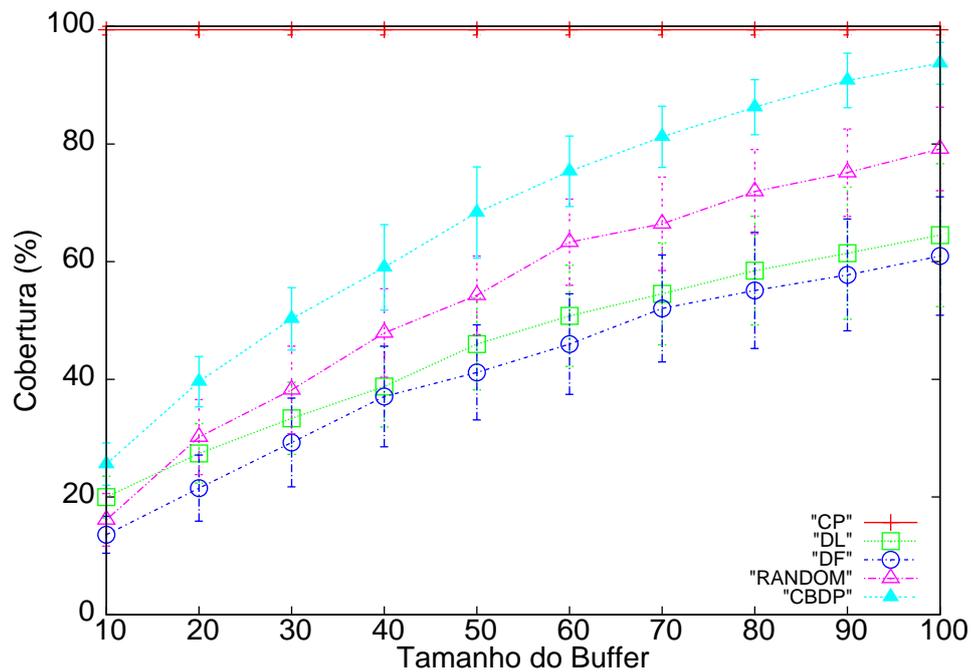


Figura 3.4. Impacto do tamanho do *buffer* em uma rede com 150 nós.

em *buffers* menores, enquanto as outras soluções tiveram um impacto significativo. A política DF apresentou o pior desempenho, isso ocorre porque essa política descarta os primeiros pacotes coletados pelo *buffer* quando este fica saturado, então coleta apenas os pacotes do final da simulação e todos os outros pacotes são descartados, então

somente nós próximos são considerados. As políticas DF e DL apresentaram desempenho similar, sendo que a distribuição dos nós pela rede é que vai determinar um pequena diferença de desempenho entres essas políticas. A política RANDOM ficou mais próxima da CBDP, isso porque o descarte aleatório de pacotes leva a uma melhor distribuição dos pacotes conforme a MULA percorre a rede.

3.3.2 Avaliação do tamanho da rede

A política CBDP otimiza o uso do *buffer*, principalmente em redes de larga escala e densa. Esse aspecto é melhor apresentado na Figura 3.5 e Figura 3.6, em que o tamanho do *buffer* é fixado em 50 como podemos observar no Figura 3.5 e em 100, mostrado no Figura 3.6, e o tamanho da rede é variado. Como podemos ver, mais nós na área de simulação pode levar a um aumento da CP, mas o elevado número de pacotes satura o *buffer* e degenera o desempenho de todas as soluções. As políticas CBDP e RANDOM apresentaram um aumento da cobertura assim que o tamanho da rede aumentou, porque nós adicionais tendem a aumentar a cobertura. Entretanto, após algum limite, a área de cobertura começou a cair, isso por causa da saturação do *buffer*.

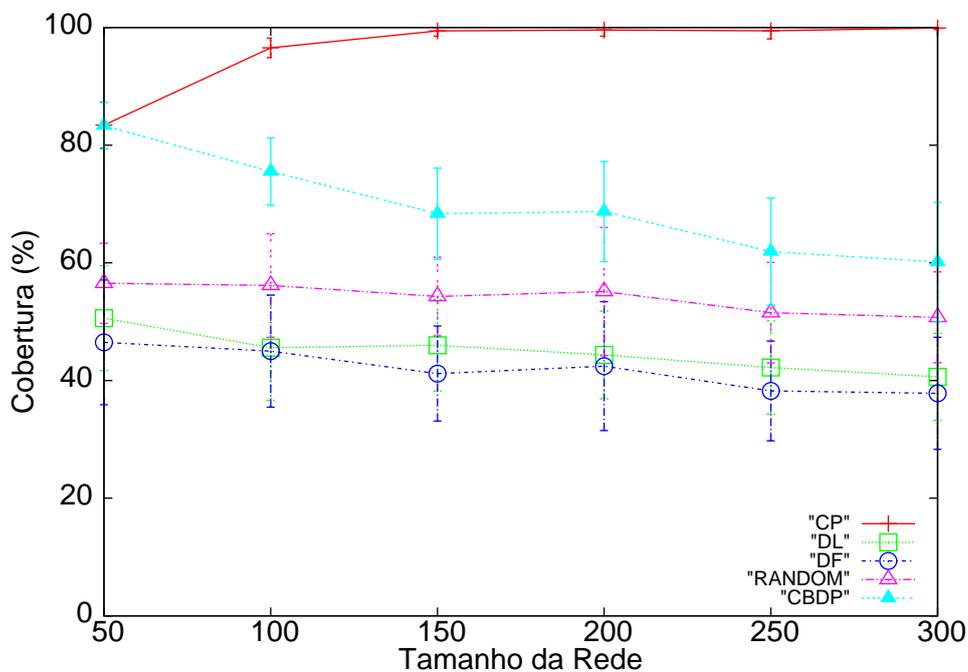


Figura 3.5. Impacto do tamanho da rede na cobertura em uma MULA com *buffer* 50.

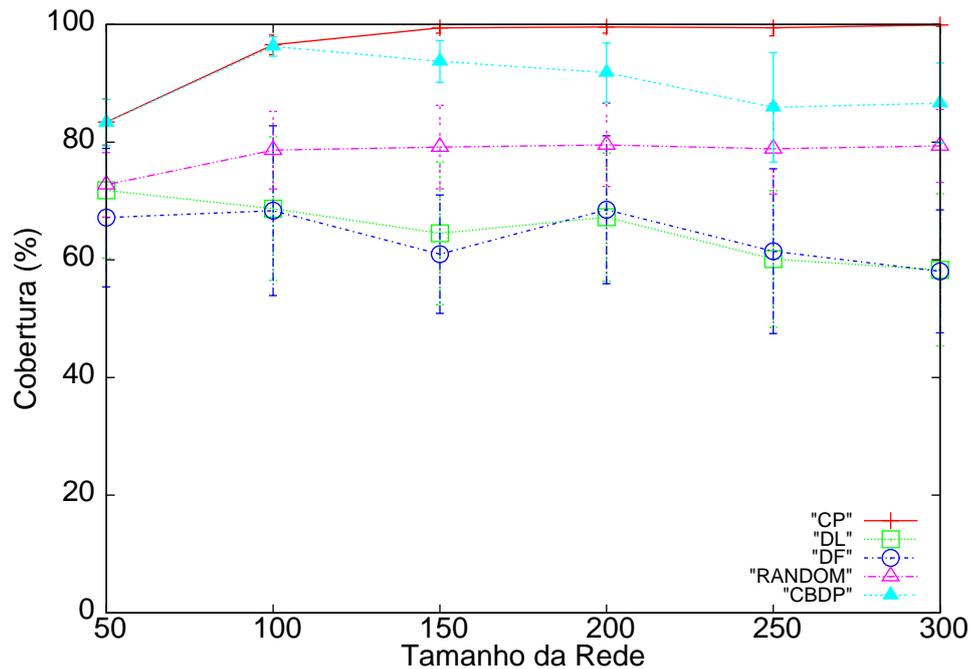


Figura 3.6. Impacto do tamanho da rede na cobertura em uma MULA com *buffer* 100.

3.3.3 Avaliação da quantidade de MULAs

A avaliação do CBDP considerou quantidades maiores de MULAs na rede, como podemos ver na Figura 3.7 e Figura 3.8. Para essa avaliação, usamos tamanhos de rede com 50 nós sensores, representado na Figura 3.7 e 300 nós sensores na Figura 3.8, e o número de MULAs foi variado de 1 até 10 MULAs, em que cada cenário é avaliado com *buffers* de 10, 20, 30, 40 ou 50. Um número maior de MULAs leva a um aumento da cobertura, porque quanto maior o número de MULAs maior a área coberta e mais espaço para armazenar informações. Podemos perceber que com mais MULAs pode-se atingir coberturas de até 60% com *buffers* menores. Em todos os casos avaliados, com o tamanho do *buffer* em 50 e com pelos menos 6 MULAs o CBDP apresentou o mesmo desempenho que CP, a máxima cobertura possível.

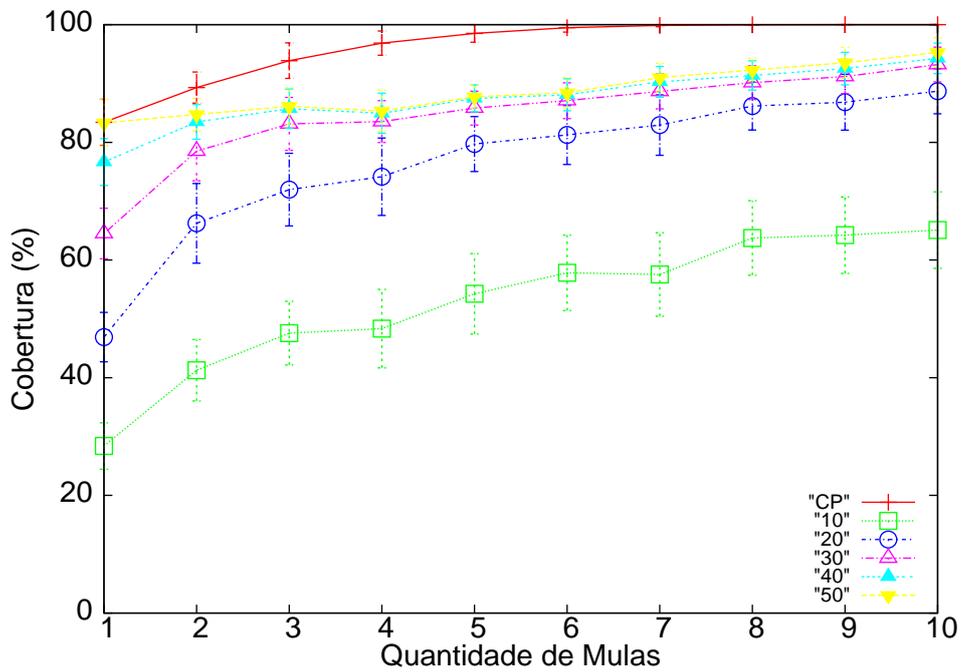


Figura 3.7. O impacto da quantidade de MULAs na rede com 50 nós.

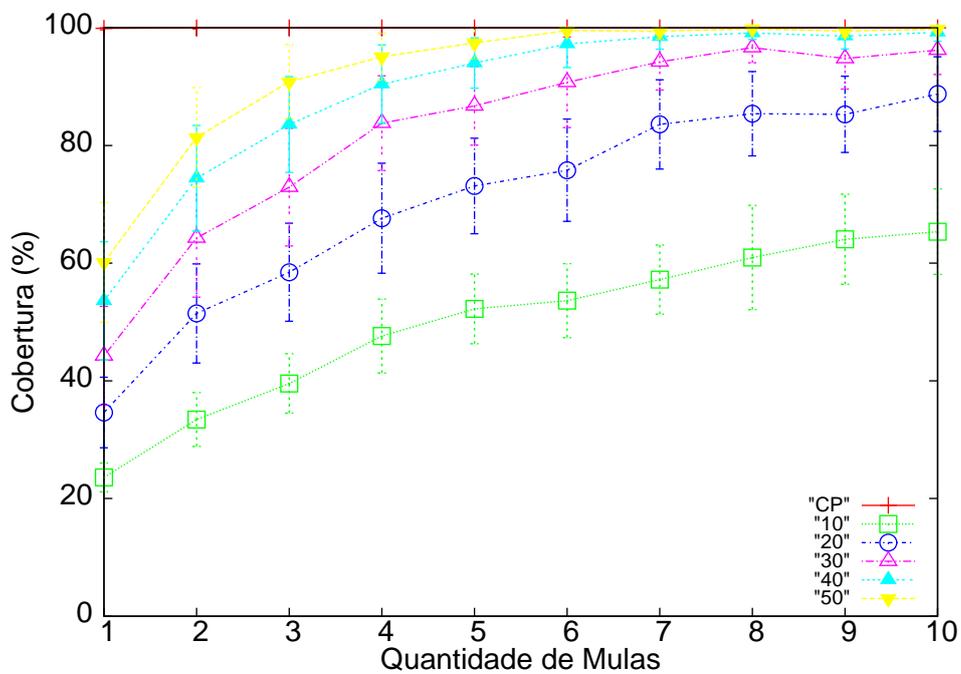


Figura 3.8. O impacto da quantidade de MULAs na rede com 300 nós.

Capítulo 4

Considerações Finais

4.1 Conclusões

Esse trabalho mostra a necessidade de adaptar todas as soluções existentes para as particularidades da RSSF. Foi mostrado que as soluções de gerenciamento de *buffer* tradicionais em redes DTN não são adequadas para aplicações de monitoramento em RSSFs, no qual a cobertura é uma importante métrica. Em particular, a solução proposta, baseada na estimativa de cobertura para descarte de pacotes, se mostrou superior comparada as políticas tradicionais com Drop Last, Drop First, e RANDOM Drop.

Esse trabalho contribui para o desenvolvimento das RSSFs, porque essas redes são supostamente para serem aplicadas em grandes áreas. Nesses casos, a conectividade total entre os nós sensores é dificilmente alcançada. Comunicação oportunista e DTNs podem ser complementares para esses casos anteriormente estudados no domínio de RSSF. Portanto, esse trabalho apresenta algumas análises dos efeitos causados pela política de descarte na métrica da cobertura, e CBDP mostrou em tornar isso uma solução baseada em dados (*data-aware*).

Através do estudo de um modelo de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, é crescente a preocupação de atender ambientes cada vez mais desafiadores, em que protocolos tradicionais de redes como o TCP/IP [Stevens, 1993] são ineficazes. Portanto, a nossa solução tem como objetivo atender e melhorar a transferência de dados em regiões que sofrem com constantes desconexões, ou que são desprovidas de infraestrutura de comunicação, como é o caso da região amazônica, nossa solução visa ainda usar recursos do dia-a-dia dessas regiões, como o uso de barcos regionais para realizar a coleta de dados, buscando o barateamento da implantação da solução proposta, tornando-a viável.

4.2 Trabalhos futuros

Como trabalho futuro, pretende-se avaliar os experimentos utilizando um *trace* de mobilidade real, o trabalho ficaria mais robusto e ganharia nos resultados, aproximando-se de um cenário real, a ideia seria obter um modelo de mobilidade das MULAS que seriam utilizadas nas coletas, e com o modelo de mobilidade real, a análise de comportamento do protocolo seriam feitos em cenários bem próximos das condições reais e os resultados mais precisos.

O trabalho aqui proposto sugere um cenário em que os nós sensores estão distantes de uma estação base, sendo necessária a utilização de MULAS para realizar a coleta dos dados, no entanto um cenário possível são sub-redes, um conjunto de nós sensores em “ilhas”. As MULAs estabeleceriam a comunicação entre essas ilhas de sensores, e em cada ilha seriam realizadas eleições nós líderes locais, sendo responsáveis em filtrar as informações de sua rede e armazená-las, para repassar os dados para a MULA em seu raio de comunicação. Um possível estratégia para eleger um nó líder, seria o primeiro nó que entrasse em contato com a MULA avisando os demais, um esquema é mostrado na Figura 4.1.

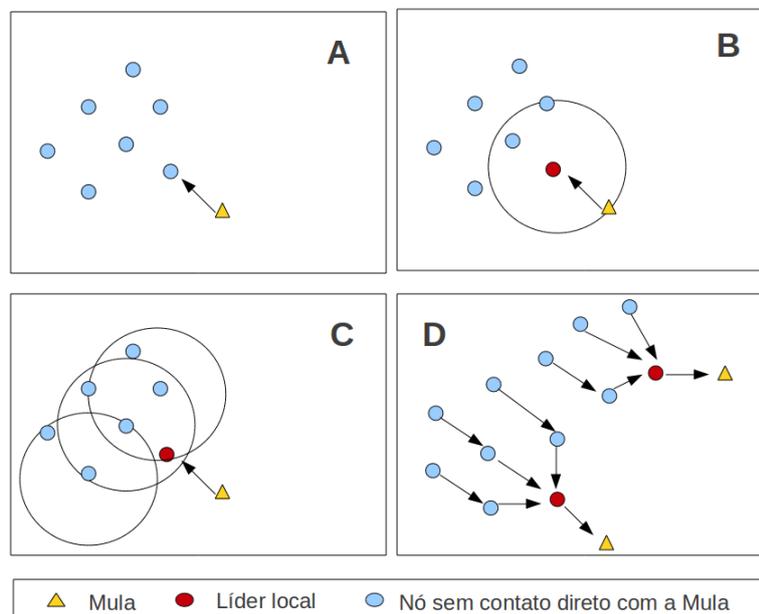


Figura 4.1. Eleição de líderes locais : (a) Mula entra na área de sensoriamento (b) Eleição do líder local (c) Nó líder informa ao vizinhos que é o líder local (d) Os dados são transmitidos ao líder que os entrega a MULA

A utilização de várias MULAS melhora a cobertura da rede, e a capacidade de coleta é maior, mas um fator importante que podemos fazer futuramente é realizar o balanceamento de informações coletadas, quando ocorresse o encontro entre duas MULAS, a que estiver com *buffer* mais ocupado transfere dados para a MULA com o *buffer* menos ocupado, além de realizar a eliminação de pacotes redundantes.

A coleta dos dados é feito através da MULAS que vão até as redes e os trazem até uma estação base, uma possibilidade que pode influenciar na cobertura é o tipo de MULA, além de capacidade de processamento e armazenamento é necessário, avaliar a velocidade de movimentação da MULA entre os nós sensores, para isso é necessário realizar o levantamento de impacto da velocidade da MULAS na cobertura, para encontrar a velocidade mais adequada na coleta de dados, e assim verificar se é possível ter uma coleta eficiente de dados com MULAS em altas velocidades e em baixas velocidades.

Outra possibilidade é o uso de MULAs exploratórias que identifiquem os locais onde existe a maior ocorrência de nós sensores, e com isso retornam a base para informar as outras MULAS a localização de onde ela encontrou os nós sensores. Essa estratégia pode ser adotada quando a MULAS não tem a localização prévia dos nós sensores.

Em nosso cenário, considera-se que a localização dos nós sensores é dada em duas dimensões, porém em um cenário real, o mais provável é que a localização dos nós sensores esteja em três dimensões a menos que estejam na mesma altura, isso porque em aplicações reais, os nós sensores geralmente são implantados em locais altos, como em torres ou árvores para aumentar o alcance do raio de comunicação, e evitando obstáculos. Então para análise futura, uma proposta é realizar o protocolo proposto considerando um cenário em três dimensões.

Referências Bibliográficas

Akyildiz, I.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. *Communications Magazine, IEEE*, 40(8):102--114.

Arampatzis, T.; Lygeros, J. & Manesis, S. (2005). A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks. Em *Intelligent Control, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation*, pp. 719--724.

Basagni, S.; Carosi, A.; Melachrinoudis, E.; Petrioli, C. & Wang, Z. (2008). Controlled Sink Mobility for Prolonging Wireless Sensor Networks Lifetime. *Wirel. Netw.*, 14(6):831--858.

Basagni, S.; Chlamtac, I.; Syrotiuk, V. R.; Woodward, B. A. et al. (1998). A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM). Em *Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom '98*, pp. 76--84.

Camp, T.; Boleng, J. & Davies, V. (2002). A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research. *wireless communications & mobile computing (wcmc): special issue on mobile ad hoc networking: research, trends and applications*, 2:483--502.

Cerf, V. G.; Burleigh, S. C.; Durst, R. C.; Fall, K.; Hooke, A. J.; Scott, K. L.; Torgerson, L. & Weiss, H. S. (2007). Delay-Tolerant Networking Architecture. RFC 4838, RFC Editor, Fremont, CA, USA.

Chai, E.; Chan, M. C. & Ananda, A. (2006). Coverage Aware Buffer Management and Scheduling for Wireless Sensor Networks. Em *Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, volume 1, pp. 100--108.

- Chatzigiannakis, I.; Kinalis, A. & Nikolettseas, S. (2008). Efficient Data Propagation Strategies in Wireless Sensor Networks Using a Single Mobile Sink. *Comput. Commun.*, 31(5):896--914.
- Chatzigiannakis, I.; Nikolettseas, S.; Kinalis, A.; Rolim, J. et al. (2007). Fast and Energy Efficient Sensor Data Collection by Multiple Mobile Sinks. Em *Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access, MobiWac '07*, pp. 25--32, New York, NY, USA. ACM.
- Chiang, C.-C. & Gerla, M. (1998). On-Demand Multicast in Mobile Wireless Networks. Em *ICNP'98*, pp. 262--262.
- Costa, P.; Mascolo, C.; Musolesi, M. & Picco, G. (2008). Socially-aware routing for publish-subscribe in delay-tolerant mobile ad hoc networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 26(5):748--760.
- Daly, E. M. & Haahr, M. (2007). Social Network Analysis for Routing in Disconnected Delay-tolerant MANETs. Em *Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, MobiHoc '07*, pp. 32--40.
- Eisenman, S. B.; Lane, N. D. & Campbell, A. T. (2008). Techniques for Improving Opportunistic Sensor Networking Performance. Em *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS '08*, pp. 157--175, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- Fall, K. & Farrell, S. (2008). DTN: an architectural retrospective. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 26(5):828--836.
- Figueiredo, C. M. S.; Nakamura, E. F.; Loureiro, A. A. F. et al. (2005). *Self-Organization Algorithms for Wireless Networks*, capítulo 23, pp. 519--533. Information Science Series. Taylor & Francis, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300.
- Gillis, J. (1955). Correlated random walk. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 51:639--651.
- Haas, Z. (1997). A new routing protocol for the reconfigurable wireless networks. Em *Universal Personal Communications Record, 1997. Conference Record., 1997 IEEE 6th International Conference on*, volume 2, pp. 562--566.
- Jain, S.; Fall, K. & Patra, R. (2004). Routing in a delay tolerant network. Em *Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and*

- protocols for computer communications*, SIGCOMM '04, pp. 145--158, New York, NY, USA. ACM.
- Kareiva, P. M. & Shigesada, N. (1983). Analyzing Insect Movement as a Correlated Random Walk. *Oecologia*, 56(2/3):234--238.
- Khan, N. M.; Ali, I.; Khalid, Z.; Ahmed, G.; Ramer, R. & Kavokin, A. A. (2008). Quasi Centralized Clustering Approach for an Energy-efficient and Vulnerability-aware Routing in Wireless Sensor Networks. Em *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Heterogeneous Sensor and Actor Networks*, HeterSanet '08, pp. 67--72.
- Ko, Y.-B. & Vaidya, N. H. (2000). Location-aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. *Wirel. Netw.*, 6(4):307--321.
- Koushanfar, F.; Meguerdichian, S.; Qu, G. & Potkonjak, M. (2001). Exposure in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks. Em *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 139--150.
- Krifa, A.; Barakat, C. & Spyropoulos, T. (2008). Optimal Buffer Management Policies for Delay Tolerant Networks. Em *2008 5th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 260--268. IEEE.
- Li, Y.; Zhao, L.; Liu, Z. & Liu, Q. (2009). N-Drop: congestion control strategy under epidemic routing in DTN. Em Guizani, M.; Mueller, P.; Frahnrich, K.-P.; Vasilakos, A. V.; Zhang, Y. & Zhang, J., editores, *Proceedings of the International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly, IWCMC 2009, Leipzig, Germany, June 21-24, 2009*, pp. 457--460. ACM.
- Liang, B. & Haas, Z. J. (2003). Predictive Distance-based Mobility Management for Multidimensional PCS Networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 11(5):718--732.
- Lindgren, A.; Doria, A. & Schelén, O. (2003). Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 7(3):19--20.
- Lindgren, A. & Phanse, K. S. (2006). Evaluation of queueing policies and forwarding strategies for routing in intermittently connected networks. Em *In Proceedings of the The First International Conference on COMMunication System softWARE and MiddlewaRE (COMSWARE)*.

- Loureiro, A. A. F.; Nogueira, M. S.; Nakamura, E. F. & Maurício, C. (2003). Redes de Sensores Sem Fio. *Brasileiro de Redes*, 21:179--226.
- Luo, J.; Panchard, J.; Piórkowski, M.; Grossglauser, M. & Hubaux, J.-p. (2006). Mobicroute: Routing towards a mobile sink for improving lifetime in sensor networks. Em *in Sensor Networks in the 2nd IEEE/ACM DCOSS*, pp. 480--497. Springer Verlag.
- Meguerdichian, S.; Koushanfar, F.; Potkonjak, M. & Srivastava, M. (2001). Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks. Em *INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 3, pp. 1380--1387.
- Mica2, C. (2004). Mts/mda sensor and data acquisition boards user's manual. [Online] Available: <http://www.xbow.com/>.
- Musolesi, M. & Mascolo, C. (2007). Designing Mobility Models Based on Social Network Theory. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 11(3):59--70.
- Oliveira, E. C. R. & Albuquerque, C. V. N. (2009). NECTAR: a DTN routing protocol based on neighborhood contact history. Em *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*, pp. 40--46.
- Rashid, S.; Ayub, Q.; Zahid, M. S. M. & Abdullah, A. (2011). Article: E-DROP: An Effective Drop Buffer Management Policy for DTN Routing Protocols. *International Journal of Computer Applications*, 13(7):8--13. Published by Foundation of Computer Science.
- Rhee, I.; Shin, M.; Hong, S.; Lee, K.; Kim, S. J. & Chong, S. (2011). On the Levy-Walk Nature of Human Mobility. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 19(3):630--643.
- Salvador, E. M.; Macedo, D. F.; Nogueira, J. M.; Nobre, J. C.; Duarte, P. A. P. R. & Granville, L. Z. (2011). Towards an Architecture for Managing Delay-tolerant Emergency Networks. Em *Proceedings of the 3rd Extreme Conference on Communication: The Amazon Expedition*, ExtremeCom '11, pp. 2:1--2:2, New York, NY, USA. ACM.
- Sandulescu, Gabriel; Nadjm-Tehrani & Simin (2008). Opportunistic DTN Routing with Window-aware Adaptive Replication. Em *Proceedings of the 4th Asian Conference on Internet Engineering*, AINTEC '08, pp. 103--112.

- Shah, R.; Roy, S.; Jain, S. & Brunette, W. (2003). Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. Em *Sensor Network Protocols and Applications, 2003. Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE International Workshop on*, pp. 30--41.
- Shwe, H. Y.; Gacanin & H. and Adachi, F. (2010). Multi-layer WSN with power efficient buffer management policy. Em *Communication Systems (ICCS), 2010 IEEE International Conference on*, pp. 36--40.
- Slijepcevic, S.; Meguerdichian, S.; Karayan, V. & Potkonjak, M. (2001). Localized Algorithms in Wireless Ad-hoc Networks: Location Discovery and Sensor Exposure. Em *Proceedings of the 2Nd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking Computing*, pp. 106--116.
- Souza, C. B. D. & Mota, E. (2012). Política de Descarte de Mensagens Baseada em Laços Sociais e Tokens para Redes Oportunistas. Em *Anais do II Workshop de Pesquisa em Informática (WoPI'12)*.
- Spyropoulos, T.; Psounis, K. & Raghavendra, C. (2004). Single-copy routing in intermittently connected mobile networks. Em *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE SECON 2004. 2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on*, pp. 235--244.
- Stevens, W. R. (1993). *TCP/IP Illustrated (Vol. 1): The Protocols*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.
- Vahdat, A.; Becker, D. et al. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Relatório técnico, Technical Report CS-200006, Duke University.
- Wang, Y.-H.; Huang, K.-F. & Tsao, S.-W. (2011). An Instantaneous Data Dissemination Mechanism with Mobile Sinks in Wireless Sensor Network. Em *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 385--390.
- Xue, J.; Fan, X.; Cao, Y.; Fang, J. & Li, J. (2009). Spray and Wait Routing Based on Average Delivery Probability in Delay Tolerant Network. Em *Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, 2009. NSWCTC '09. International Conference on*, pp. 500--502.
- Zhao, W.; Chen, Y.; Ammar, M.; Corner, M. D.; Levine, B. N. & Zegura, E. (2006). Capacity Enhancement using Throwboxes in DTNs. Em *Proceedings of IEEE International Conf on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (MASS)*, pp. 31--40.

4.3 Trabalhos concluídos durante o mestrado

- **Trabalho publicado** - Daniel Frazao Luiz, Carlos M. S. Figueiredo, Eduardo F. Nakamura, "A coverage-based drop-policy in wireless sensor network with disruptive connections," ISCC, pp.000394-000398, 2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2012)
- **Trabalho aceito para publicação** - Helmer Mourão and Horácio Oliveira and Daniel Frazão Luiz, "WiFi Indoor Positioning System Using Transmit Power Variation and kNN, "LCN, p. 428-431, 38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2013)