

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 ob-
tenção do grau de Mestre em Informática.

ORIENTADOR: CARLOS MAURÍCIO SERÓDIO FIGUEIREDO

Manaus - AM

Março de 2013

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

D1234p Frazão Luiz, Daniel
Uma Política de Descarte Baseada em Cobertura
em Redes de Sensores Sem Fio Com Conexão
Disruptiva / Daniel Frazão Luiz. — Manaus - AM,
2013
xvi, 38 f. : il. ; 29cm

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

1. Redes de Sensores. 2. Redes Com Conexão
Disruptiva. 3. RSSFs. 4. DTNs. I. 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%.

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), onde 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 e Drop First.

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	Exemplo de um local onde uma RSSF pode ser implantada.	6
2.2	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.	10
2.3	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.	10
2.4	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.	10
2.5	Um exemplo de aplicação de uma rede DTN.	11
2.6	Exemplo de possíveis MULAs que fazem contato oportunista.	13
2.7	Exemplo de particionamento do buffer baseado no tipo de pacote.	15
2.8	Alguns modelos de nós sensores.	17
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.	22
3.2	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	23
3.3	Impacto do tamanho do buffer (a) Rede com 50 nós (b) Rede com 100 nós (c) Rede com 150 nós (d) Rede com 200 nós (e) Rede com 250 nós (f) Rede com 300 nós.	26
3.4	Impacto do tamanho do buffer (d) Rede com 200 nós (e) Rede com 250 nós (f) Rede com 300 nós.	27

3.5	Impacto do tamanho da rede na cobertura (a) MULA com Buffer 50 (b) MULA com Buffer 100.	28
3.6	O impacto da quantidade de MULAs na rede (a) Rede com 50 nós (b) Rede com 300 nós.	30

Lista de Tabelas

2.1	Relações sociais adotadas	16
3.1	Parâmetros de Simulação.	24

Sumário

Resumo	vii
Abstract	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
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 Fundamentos e Trabalhos Relacionados	5
2.1 Redes de Sensores	5
2.1.1 Características das RSSFs	6
2.1.2 Cobertura	7
2.2 Redes DTNs	11
2.2.1 Os Contatos Oportunistas	12
2.3 Trabalhos Relacionados	13
2.3.1 Políticas para descarte em buffer em DTNs	13
2.3.2 Sink Móvel	16
2.4 Modelos de roteamento	18
2.5 Modelos de mobilidade	19
3 Uma Política de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP)	21
3.1 Descrição do cenário	22
3.2 Métricas	24

3.2.1	Avaliação do Tamanho do Buffer	25
3.2.2	Avaliação do Tamanho da Rede	25
3.2.3	Avaliação da Quantidade de MULAs	29
4	Considerações Finais	31
4.1	Conclusões	31
4.2	Trabalhos Futuros	31
	Referências Bibliográficas	35
4.2.1	Trabalhos Publicados	38

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. [2003b]). Inicialmente, vários trabalhos trataram de aspectos de organização e comunicação eficientes Figueiredo et al. [2005] e, posteriormente, começaram a surgir trabalhos sobre aplicações interessantes, principalmente nas área 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 adota-se 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.

Este último conceito se relaciona 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*), e tal característica deve ser considerada na união dos conceitos de RSSFs e DTNs, alvo deste trabalho.

O restante deste documento está organizado conforme a seguir: Primeiramente é

apresentado os objetivos deste trabalho, no capítulo 2 é descrito os principais trabalhos relacionados, no capítulo 3 é apresentado a política desenvolvida (CBDP), no Capítulo 4 veremos a metodologia e cronograma e por fim teremos uma breve conclusão e trabalhos futuros.

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, a 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 oportunista, a união desses conceitos é feito para melhorar o armazenamento de informações mais relevantes (que contribuam mais para a cobertura), melhorando assim a eficiência da rede.

1.1.1 Objetivo geral

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

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o impacto do número de MULAs que utilizando a política de gerenciamento de buffer propostas maximizem a cobertura da RSSF.
- Avaliar o impacto do tamanho do *buffers* das MULAs visando otimizar a cobertura da rede.
- Avaliar o impacto da verificação do conteúdo dos pacotes para melhorar a qualidade da política de descarte.

1.2 Organização da Dissertação

A dissertação está estruturada conforme descrito 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.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica dos principais protocolos de descarte presentes na literatura, e contém uma comparação entre os modelos apresentados.

O Capítulo 4 propõe uma política de descarte baseada em cobertura de sensoriamento. Nele estão descritas as primitivas do modelo proposto e as restrições consideradas.

Capítulo 5 apresenta as conclusões e as direções para possíveis trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentos e Trabalhos Relacionados

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 necessário para o entendimento do problema e da solução proposta por essa dissertação.

2.1 Redes de Sensores

Segundo Loureiro et al. [2003a], Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) são uma tecnologia emergente que promete uma funcionalidade sem precedentes para monitorar, instrumentar, e, possivelmente, controlar o mundo físico. Redes de sensores sem fio consistem de um grande número de dispositivos sem nós (nós sensores ou simplesmente sensores) densamente distribuídos em uma região de interesse.

RSSFs podem operar por períodos de tempo variando de semanas a anos de forma autônoma. Isso depende fundamentalmente da quantidade de energia disponível para cada sensor na rede. Em muitas aplicações nós sensores podem não estar facilmente acessíveis por causa da localização onde são empregados ou da escala da rede. Em ambos os casos, a manutenção da rede para reabastecimento de energia se torna impraticável. Mais ainda, caso seja necessário substituir a bateria de um sensor frequentemente, as principais vantagens de uma RSSF seriam perdidas.

As aplicações das RSSF são diversas, Em Loureiro et al. [2003a] é apresentada algumas delas:

- Militar - para funções de monitoramento, rastreamento , segurança, controle e

manutenção;

- Industrial - para funções de monitoramento, particularmente em áreas de difícil acesso;
- Aviação - substituindo as redes com fio, como já são usadas hoje;
- Ambiente - para monitorar variáveis ambientais em prédios, florestas oceanos;
- Tráfego - principalmente monitoramento de vias, estacionamentos;
- Engenharia - monitoramento (e modelagem) de estruturas.



Figura 2.1. Exemplo de um local onde uma RSSF pode ser implantada.

2.1.1 Características das RSSFs

As principais características de uma rede sensorial são: o sensor, o observador e o fenômeno. O sensor é quem faz a monitoração do fenômeno que está sendo analisado, ele é formado por: processador, rádio para comunicação, memória e bateria. Ele faz a leitura (medida) do fenômeno e repassa essa informação para o observador. Vale lembrar que quanto maior a distância do fenômeno em relação ao sensor, menor será a precisão desse sensor. 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 está sendo monitorado pela rede sensorial. 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 protocolos eficientes no consumo de energia e 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 redes de sensores, 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 exposição dos sensores. 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 o ataque replay, que utiliza transmissões antigas para alterar uma rede, ou seja, deve garantir que os dados recebidos são recentes.

2.1.2 Cobertura

O rápido progresso das comunicações sem fio e dispositivos de sensoriamento tornaram as redes de sensores possíveis. Nesses ambientes podem existir diversos nós sensores baratos, com a capacidade de coletar, armazenar, e processar informações do ambiente, e realizar a comunicação com os nós vizinhos. No passado, os sensores eram conectados por fios. Hoje, esses ambientes são combinados com uma nova tecnologia de redes ad hoc para facilitar a comunicação entre os nós sensores. A flexibilidade de instalação e configuração é gradativamente melhorada.

2.1.2.1 Área de Interseção de duas circunferências

A solução proposta pela dissertação é uma Política de Descarte Baseada em Cobertura, como diz no título da dissertação o nosso foco é armazenar na MULA os nós com maior contribuição para cobertura. Para isso eliminarmos o nós com a maior área de interseção.

Na interseção de duas circunferências os seguintes casos podem ocorrer, o primeiro caso Figura 2.1.2.1 a distância dos centros das circunferências é maior que a soma dos raios da circunferências. No segundo caso Figura 2.1.2.1 a distância dos centros é igual a soma dos raios das circunferências. No terceiro caso Figura 2.1.2.1 a soma da distância dos centros é menor que a soma dos raios das circunferências.

Tanto no caso 1 e 2 a interseção área será $Area \leq 0$. No terceiro caso para obtermos a área de interseção podemos utilizar a seguinte fórmula:

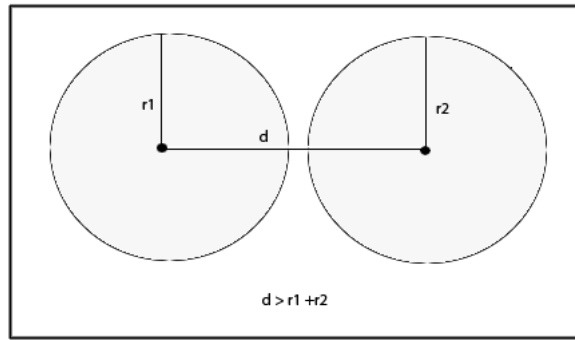


Figura 2.2. No primeiro caso a distância dos centros das circunferências representada por d é maior que a soma dos raios $r1$ e $r2$ não havendo então área de interseção.

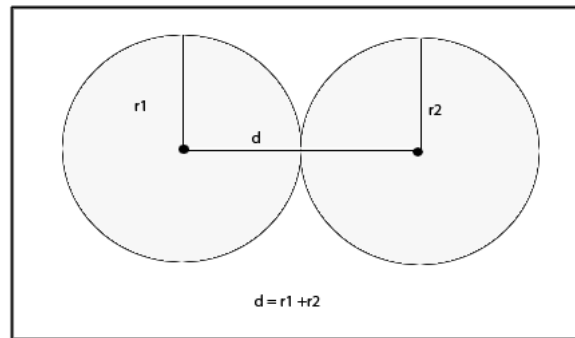


Figura 2.3. No segundo caso a distância dos centros das circunferências representada por d é igual que a soma dos raios $r1$ e $r2$ não havendo então área de interseção.

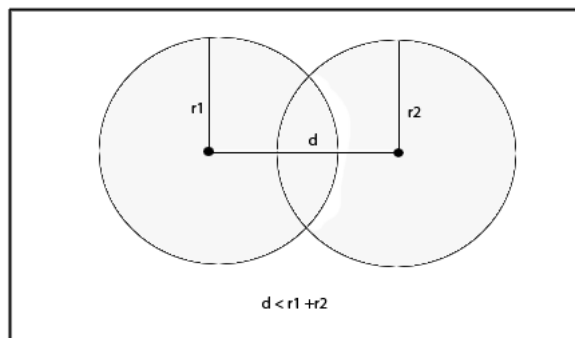


Figura 2.4. No terceiro caso a distância dos centros das circunferências representada por d é menor que a soma dos raios $r1$ e $r2$ havendo então área de interseção.

$$Area = r^2 \left[2 \arccos\left(\frac{d}{2r}\right) - \sin\left(2 \arccos\left(\frac{d}{2r}\right)\right) \right] \quad (2.1)$$

Onde r representa os raios (na solução proposta são iguais) das circunferências e d é a distância entre os centros das circunferências.

2.2 Redes DTNs

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. Originalmente criadas para a realização de comunicação, onde existe a perda de conexão e atrasos nas comunicação com frequência, isso é possível através de técnicas *store-foward* para o roteamento de mensagens [Cerf et al. 2007]. Essas redes vieram para suprir o espaço de redes padrões que 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, a ligação é restringida pelos tempos de ida e volta que variam entre os 4 e os 20 minutos. Contudo, até na Terra os utilizadores, por vezes, ficam sem acesso a qualquer tipo de rede de comunicação quer seja por razões físicas ou econômicas. Como exemplo, os pastores de renas envolvidos no projecto N4C podem estar a 50km de qualquer infra-estrutura de rede e geralmente não podem fazer uso das comunicações por satélite por razões de custo.

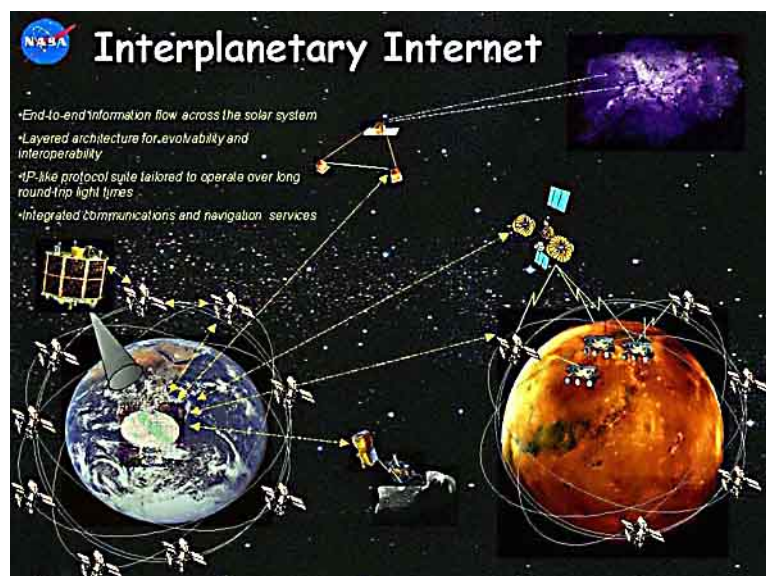


Figura 2.5. Um exemplo de aplicação de uma rede DTN.

O principal protocolo para as DTNs é o denominado protocolo *bundle*, assim,

como o nome sugere, *bundle* é a denominação dada ao conjunto de dados formados por dados de aplicações e de controle de informação inseridos no mesmo pacote. Assim com este recurso e este protocolo, as comunicações envolvendo áreas remotas não requerem múltiplas idas e voltas antes dos dados de aplicação serem transferidos (um dos principais problemas inerentes ao uso dos protocolos padrões da Internet).

A tecnologia DTN encontra-se num estado de maduro suficiente (por exemplo, existem referencias de implementações disponíveis *open-source*) para se começar a realizar modestas instalações, em locais onde as redes para ambientes de desafio são uma prioridade. Destas pequenas implementações, espera-se que o conhecimento DTN possa cumprir a promessa de se tornar um padrão da Internet do futuro.

Redes Tolerantes a atrasos e Desconexões, mais conhecidas como redes DTNs, são redes originalmente criadas para a realização de comunicação, onde existe a perda de conexão e atrasos nas comunicação com frequência, isso é possível através de técnicas *store-forward* para o roteamento de mensagens [Cerf et al. 2007]. A criação das DTNs ocorreu devido a esforços a fim de garantir o estabelecimento de uma interplanetaria. Entretanto, a utilização das características dessas redes podem ser aplicadas em diversos problemas de comunicação em redes terrestres, especialmente em ambientes com redes assíncronas e com grandes variações na entrega de informações [Ivansic 2009]. As redes DTN surgiram com a proposta de 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].

2.2.1 Os Contatos Oportunistas

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.



Figura 2.6. Exemplo de possíveis MULAs que fazem contato oportunista.

2.3 Trabalhos Relacionados

2.3.1 Políticas para descarte em buffer em DTNs

Neste capítulo 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.

Abaixo, apresentamos algumas estratégias utilizadas para tratar o estouro de memória da MULA e dos nós sensores da rede, 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 já estejam na memória.

- **Métricas** : As métricas comumente utilizadas para avaliação e comparação de políticas de descarte em buffer são as seguintes: Números de saltos, taxa de atraso, tamanho do buffer, taxa de entrega.
- **Descarte o último** : 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** : 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 o 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.

- **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. [2010] ou menor tamanho, ou ainda, elimina a informação que tem um tamanho predeterminado Qaisar Ayub [2006]. 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 Krifa et al. [2008] o descarte é baseado em disseminação de mensagens por encontros. 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 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. 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.

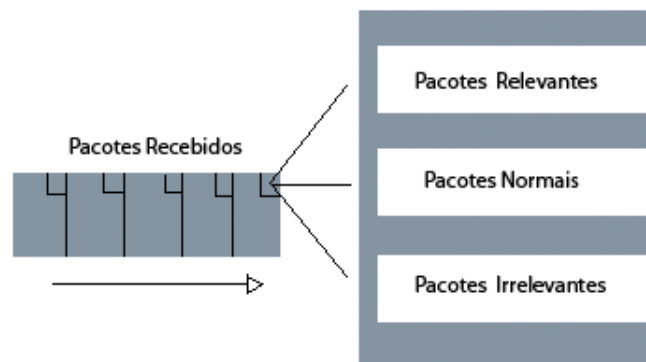


Figura 2.7. Exemplo de particionamento do buffer baseado no tipo de pacote.

- **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

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

Tabela 2.1. Relações sociais adotadas

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*.

2.3.2 Sink Móvel

Tipo especial de nó sensor, responsável por coletar os dados dos outros nós sensores da rede, possuindo a capacidade de se movimentar em todas as direções.

Uma WSN consiste em sensores autônomos distribuídos espacialmente para monitorar de forma cooperativa as condições físicas de ambientes, como a temperatura, vibração, pressão, movimento ou poluição. O desenvolvimento de WSNs foi motivado por aplicações militares, para o monitoramento de campos de vigilâncias. Agora esse formato de rede é utilizado em diversas aplicações da área industrial e civil, incluindo processos de controle e monitoramento industrial, equipamentos para monitoramento da saúde, automação das casas (casas “inteligentes”) e controle de tráfego. A Wireless Sensor Network (WSN) consists of spatially

Nós Sinks adotam esquemas de mobilidades de acordo com a natureza da aplicação da RSSF e seus requisitos. Sinks podem se fixar temporariamente em uma posição por um período de tempo, os caminhos são configurados, as requisições são enviadas para realizar o encaminhamento de dados. Depois de algum tempo os sinks movem-se para uma nova posição e reinicia o esquema de mobilidade que são classificados nas seguintes categorias [ref]:

- **Sensor** : É um dispositivo que transforma a informação da grandeza física a medir em um sinal elétrico que lhe é proporcional e que se encontra adaptado às características dos módulos de entrada do PLC.

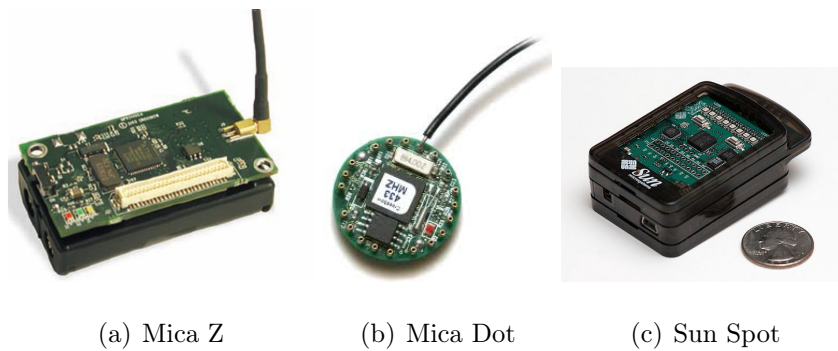
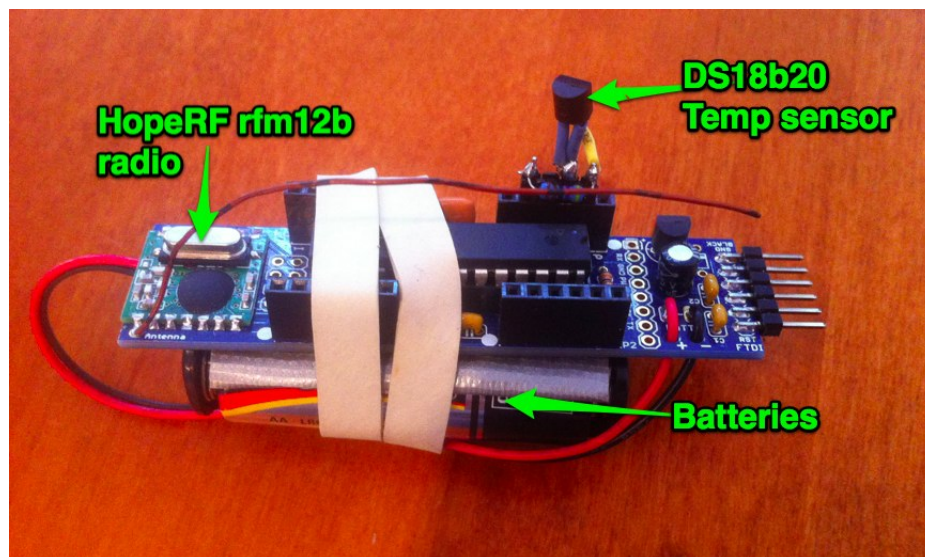


Figura 2.8. Alguns modelos de nós sensores.

Cada nó em uma RSSF é tipicamente equipado com um transceptor de rádio ou um outro dispositivo de comunicação sem fio, um pequeno micro-controlador, e uma fonte de energia, geralmente uma bateria.



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 é varia de alguns milhares de dólares até alguns trocados, 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.

2.4 Modelos de roteamento

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 ? ?. 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 ?. 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 ?. 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 ?. 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

L 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 fase de spray, cada um dos L nós carregam uma cópia da mensagem para realização de uma transmissão direta ?.

2.5 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 ?.

- Guass-Markov : Um modelo que utiliza parâmetros para variar o grau de aleatoriedade no padrão de mobilidade como citado no trabalho ?.

O modelo de mobilidade Gauss-Markov foi desenvolvido para dar uma maior adaptabilidade, ao modelo Markoviano de Percurso Aleatório como em ?. 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 ?.

- 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 quarteirões de uma cidade que possua uma rede como citado no trabalho?. 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.
- A Boundless Simulation Area Mobility Model: Um modelo onde a relação existente entre uma direção anterior de uma viagem e a velocidade de um nó móvel é a direção atual de viagem e velocidade ?.
- Modelos de Mobilidade Baseados em Redes Sociais : Nesta seção, abordaremos alguns modelos de mobilidade recentemente desenvolvidos, ?. 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 ?.

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 ? e também pode ser encontrado em ?.

Capítulo 3

Uma Política de Descarte Baseada em Cobertura (CBDP)

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 móveis.

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 mostrado na Figura 1. Em outras palavras, esse procedimento leva a maior cobertura global possível.

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

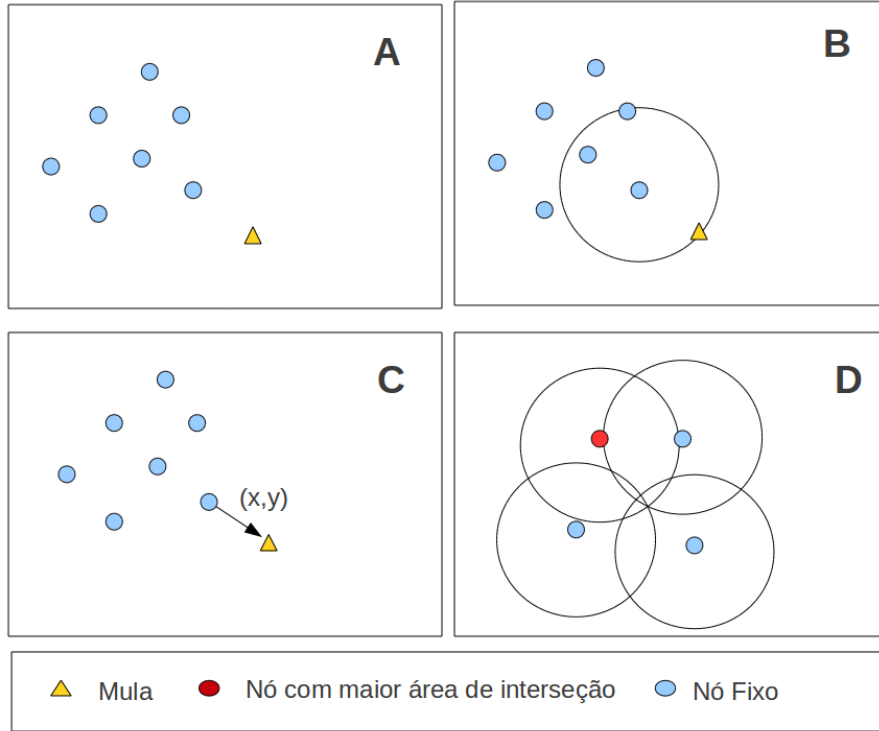


Figura 3.1. Funcionamento da rede (a) Rede com 7 nós fixos e uma MULA (b) MULA entra no raio de comunicação do nó sensor (c) Nó sensor envia sua localização para MULA (d) A MULA compara a localização recebida com as informações existentes em seu buffer e descarta a informação do nó com a maior área de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

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; $A.x, A.y, B.x, B.y$ 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, a Figura 2 ilustra a interseção de dois nós.

3.1 Descrição do cenário

Simulações foram realizadas utilizando o simulador NS-2 na versão 2.34 [2011]. 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

Algorithm 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

```

1: for  $i = 0$  to  $N$   $i \leftarrow i + 1$  do
2:   for  $j = 0$  to  $N$   $j \leftarrow j + 1$  do
3:     if  $j \neq i$  then
4:        $Aux \leftarrow AI(B_i.x, B_i.y, B_i.r, B_j.x, B_j.y, B_j.r) + Aux$ 
5:     end if
6:   end for
7:   if  $Aux > Cof_B$  then
8:      $Cof_B \leftarrow Aux$ 
9:      $pos \leftarrow i$ 
10:  end if
11:   $Cof_N \leftarrow AI(B_i.x, B_i.y, B_i.r, NewNode.x, NewNode.y, NewNode.r) + Cof_N$ 
12:   $Aux \leftarrow 0$ 
13: end for
14: if  $Cof_N < Cof_B$  and  $pos > 0$  then
15:    $B_{(pos)} \leftarrow NewNode$ 
16: end if

```

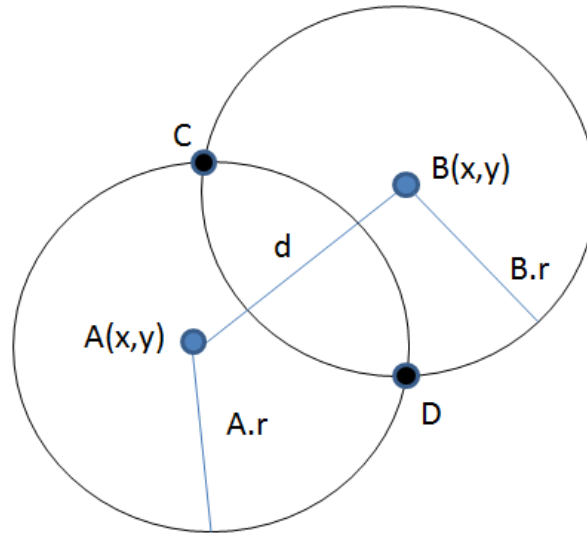


Figura 3.2. Figura que representa a interseção de dois nós A e B , onde d é a distância entre os nós, $A.r$ e $B.r$ são seus raios de sensoriamento e C e D são os pontos de interseção entre o raios de sensoriamento dos nós A e B .

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].

Os nós móveis (MULAs) seguem o modelo de mobilidade Correlated Random Walk Gillis [1955], que permite fazer previsões quantitativas sobre a taxa de propagação

Algorithm 2 Função AI**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

```

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.

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.

3.2 Métricas

Nós avaliamos 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.

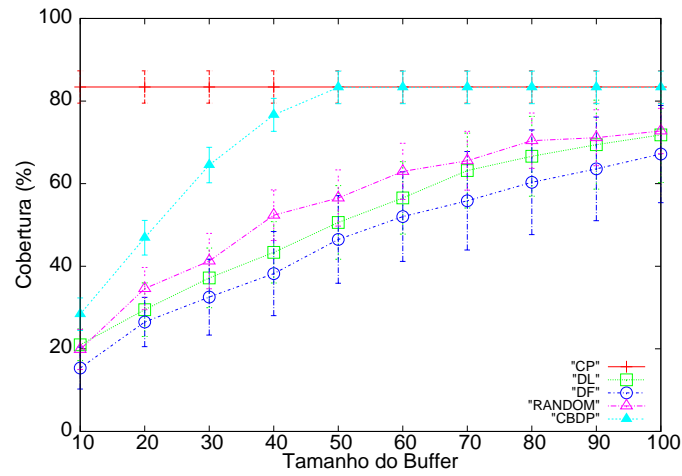
3.2.1 Avaliação do Tamanho do Buffer

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, 150, 200, 250 e 300 nós, como é mostrado nas Figuras 3.3(a), (b), (c), (d), (e) e (f). Essas figuras comparam a cobertura obtida pelo CBDP com a Cobertura Global (GC), 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%.

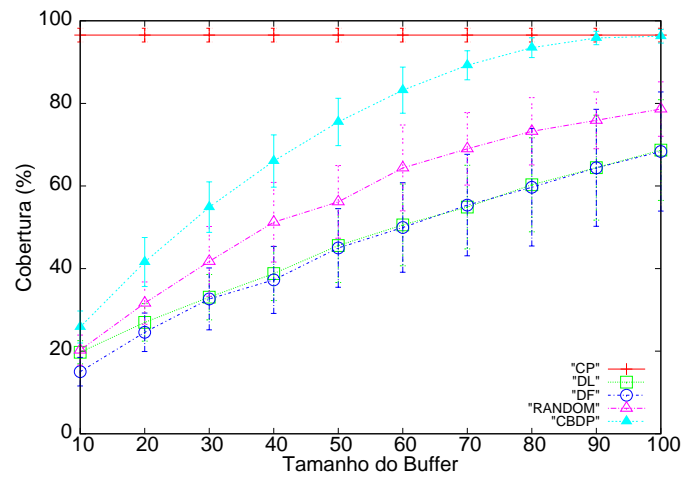
Como podemos ver na Figura 3.3, quando temos *buffer* pequenos, a solução proposta supera as outras soluções. Com o aumento do tamanho do *buffer*, todas as soluções tendem a ficar próximas da CP, que é a cobertura possível com *buffer* ilimitado. Para redes grandes, CBDP mantém seu desempenho acima de 60% mesmo 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 uma pequena diferença de desempenho entre 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.

3.2.2 Avaliação do Tamanho da Rede

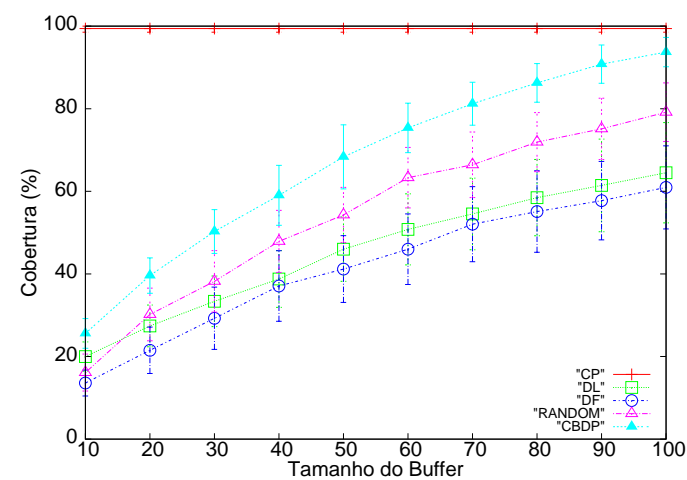
A política CBDP otimiza o uso do *buffer*, principalmente em redes de larga escala e densa. Esse aspecto é melhor apresentado na Figura 3.5, onde o tamanho do *buffer* é fixado em 50 (Figura 3.5(a)) e em 100 (Figura 3.5(b)), e o tamanho da rede é variado. Como podemos ver, mais nós na área de simulação pode levar a um aumento da CP, mas o elevado número de pacotes satura o *buffer* e degenera o desempenho de todas



(a) Rede com 50 nós

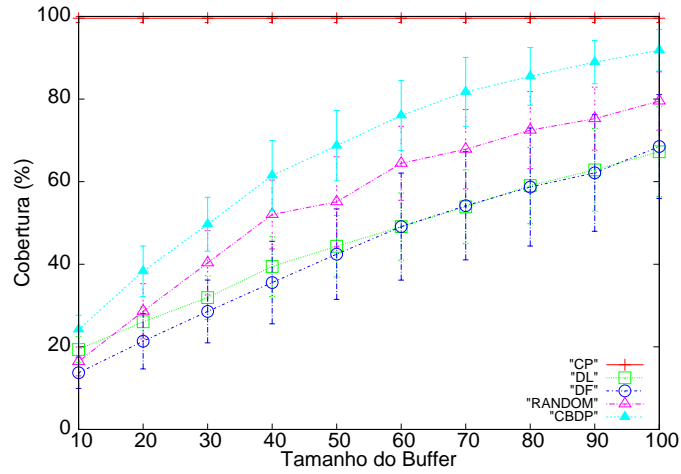


(b) Rede com 100 nós

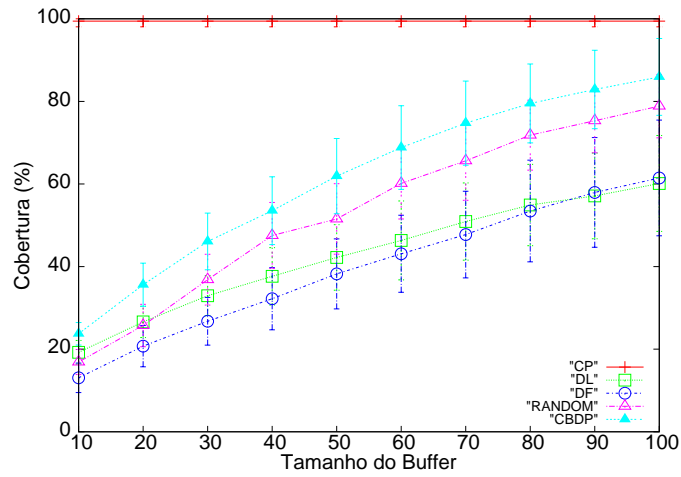


(c) Rede com 150 nós

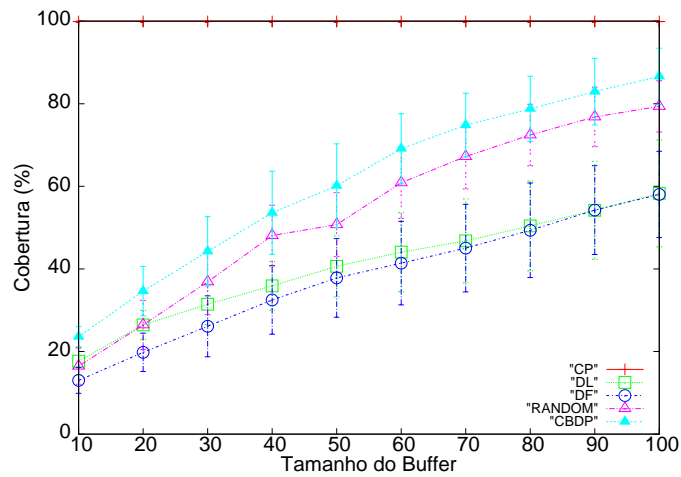
Figura 3.3. Impacto do tamanho do buffer (a) Rede com 50 nós (b) Rede com 100 nós (c) Rede com 150 nós (d) Rede com 200 nós (e) Rede com 250 nós (f) Rede com 300 nós.



(a) Rede com 200 nós



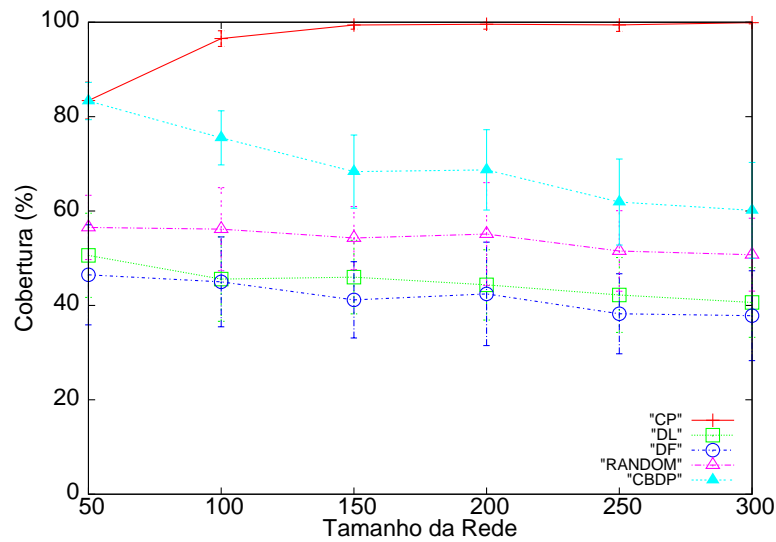
(b) Rede com 250 nós



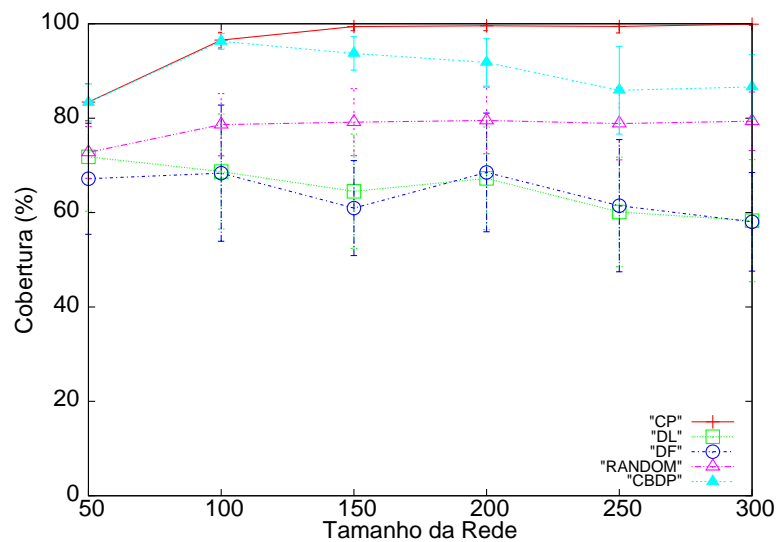
(c) Rede com 300 nós

Figura 3.4. Impacto do tamanho do buffer (d) Rede com 200 nós (e) Rede com 250 nós (f) Rede com 300 nós.

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*.



(a) MULA com Buffer 50

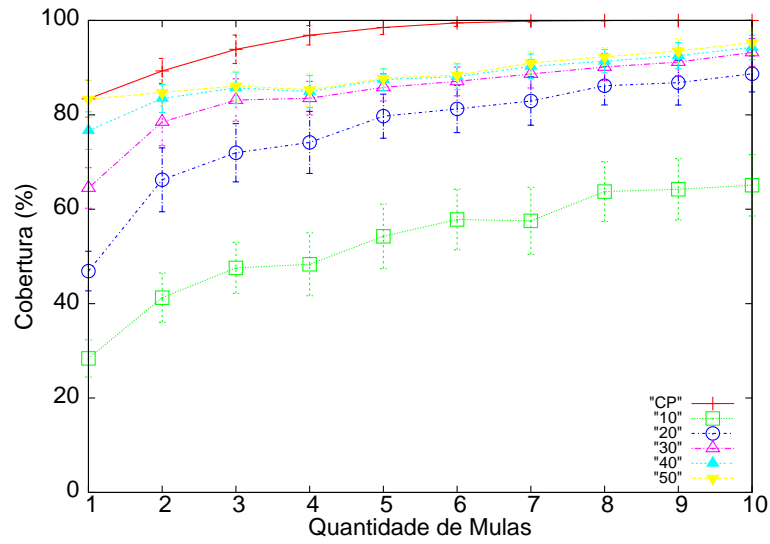


(b) MULA com Buffer 100

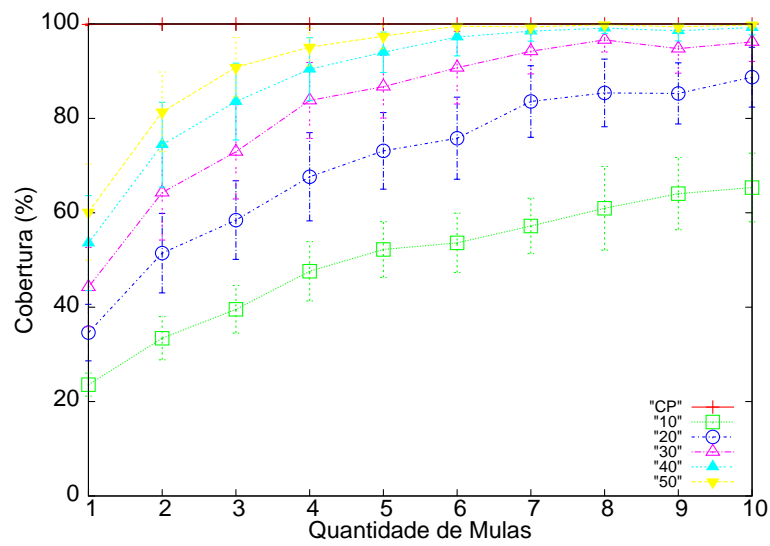
Figura 3.5. Impacto do tamanho da rede na cobertura (a) MULA com Buffer 50 (b) MULA com Buffer 100.

3.2.3 Avaliação da Quantidade de MULAs

A avaliação do CBDP considerou quantidades maiores de MULAs na rede, como podemos ver na Figura 3.6. Para essa avaliação, usamos tamanhos de rede com 50 nós sensores (Figura 3.6(a)) e 300 nós sensores (Figura 3.6(b)), e o número de MULAs foi variado de 1 até 10 MULAs, onde cada cenário é avaliado com buffers de 10, 20, 30, 40 ou 50. Uma 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.



(a) Rede com 50 nós



(b) Rede com 300 nós

Figura 3.6. O impacto da quantidade de MULAs na rede (a) Rede com 50 nós
(b) 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 grande 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).

4.2 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro, pretendemos 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 proposto sugere um cenário onde os nós sensores estão distantes de uma estação base sendo necessária a utilização de MULAS para realizar a coleta dos dados, mas um cenário possível que pode ocorrer são subredes, um conjunto de nós sensores em “ilhas” e as MULAS fariam a comunicação entre essas redes, para facilitar o trabalho de coleta das MULAS é possível realizar a eleição de líderes locais nessas subredes para filtrar as informações da rede e armazenar no líder local que transmitiria essa informação para as MULAS, uma possível nó líder seria o primeiro nó que entrasse em contato com a MULA e avisando os demais para transmitirem suas para ele e assim repassar para a MULA, melhorando assim a qualidade da informação, e assim diminuindo a redundância de pacotes. Ainda nesse cenário seria necessário a avaliação de diversos protocolos de roteamento para averiguar o impacto do protocolo de roteamento entre os nós sensores para definir quais são o mais adequados para obter uma maior cobertura.

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 encontrados em ambas MULAS.

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 de dados eficiente 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 ocorrências 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, consideramos 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

- 2.34, V. (2011). The network simulator ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- Akyildiz, I. F.; Su, W.; Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38:393--422.
- Arampatzis, T.; Lygeros, J.; Member, S. & Manesis, S. (2005). A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks. Em *Proc. 13 th Mediterranean Conference on Control and Automation, Limassol*, pp. 719--724.
- BASAGNI, V. R. S. S. et al. (1998). A distance routing effect algorithm for mobility (dream). *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM98)*.
- 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, p. 100108.
- Eisenman, S. B.; Lane, N. D. & Campbell, A. T. (2008). Techniques for improving opportunistic sensor networking performance.
- Fall, K. R. & Farrell, S. (2008). Dtn: an architectural retrospective. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 26(5):828--836.
- Figueiredo, C. M. S. et al. (2005). Algorithms and protocols for wireless and mobile networks, chapter self-organization algorithms for wireless networks. *Chapman & Hall/CRC Press*.
- Gillis, J. (1955). Correlated random walk. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 51(4):639--651.
- 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.
- Krifa, A.; Barakat, C. & Spyropoulos, T. (2008). Optimal Buffer Management Policies for Delay Tolerant Networks. Em *SECON*, p. 10, San Francisco, États-Unis.
- 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.
- 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.; Nogueira, J. M. S.; Ruiz, L. B.; de Freitas Mini, R. A.; Nakamura, E. F. & Figueiredo, C. M. S. (2003a). Redes de sensores sem fio. *Brasileiro de Redes*.
- Loureiro, A. A. F.; Nogueira, M. S.; Nakamura, E. F. & F., C. M. S. (2003b). Redes de sensores sem fio. *Brasileiro de Redes*, 21:179--226.
- Mica2, C. (2004). wireless measurement system. [Online] Available: <http://www.xbow.com/>.
- Qaisar Ayub, S. R. (2006). T-drop: An optimal buffer management policy to improve qos in dtn routing protocols. *Journal of Computing*, 2(10):46--50.
- RASHID, S. et al. (2010). Effective buffer management policy dla for dtn routing protocols under congestion. *International Journal of Computer and Network Security*.
- Shah, R. C.; Roy, S.; Jain, S. & Brunette, W. (2003). Data MULEs: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. 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.
- 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 (WoPIâ12)*.

- 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.

4.2.1 Trabalhos Publicados

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