

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CAMPUS ALBERTO CARVALHO  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**ISLAS EMANOEL ANDRADE LIMA**

**UM ESTUDO SOBRE ALGORITMOS DE ROTEAMENTO  
PARA DTNs NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE:  
CAMPUS DE ITABAIANA**

**ITABAIANA  
2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CAMPUS ALBERTO CARVALHO  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**ISLAS EMANOEL ANDRADE LIMA**

**UM ESTUDO SOBRE ALGORITMOS DE ROTEAMENTO  
PARA DTNs NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE:  
CAMPUS DE ITABAIANA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Departamento de  
Sistemas de Informação da  
Universidade Federal de Sergipe  
como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Sistemas de Informação

Orientador: Prof. Msc. José Aélío de Oliveira Jr.

**ITABAIANA  
2015**

Lima, Islas Emanuel Andrade.

Um Estudo Sobre Algoritmos De Roteamento Para DTNs  
Na Universidade Federal De Sergipe: Campus De Itabaiana/  
Islas Emanuel Andrade Lima – Itabaiana: UFS, 2015.  
52f.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) –  
Universidade Federal de Sergipe, Curso de Sistemas de  
Informação, 2015.

1. Roteamento. 2. DTN. 3. Sistemas de Informação.  
I. Um Estudo Sobre Algoritmos De Roteamento Para DTNs  
Na Universidade Federal De Sergipe: Campus De Itabaiana.

**ISLAS EMANOEL ANDRADE LIMA**

**UM ESTUDO SOBRE ALGORITMOS DE ROTEAMENTO  
PARA DTNs NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE:  
CAMPUS DE ITABAIANA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Departamento de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Sergipe (DSIITA/UFS) como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Itabaiana, 25 de Fevereiro de 2015.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof José Aélío de Oliveira Jr., Msc.  
Orientador  
DSIITA/UFS**

---

**Prof Methanias Colaço Júnior, Dr.  
DSIITA/UFS**

---

**Prof André Vinicius Rodrigues Passos Nascimento, Msc.  
DSIITA/UFS**

**Dedico**

A Jessy Dantas de Almeida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus, porque mesmo me ausentado dele durante este trabalho, ele não se ausentou de mim.

Ao meu orientador, Prof. Msc. José Aélío de Oliveira Jr., por ter dedicado parte do seu tempo a me orientar, incentivando, sanando minhas dúvidas.

Aos meus professores, pela compreensão, comprometimento com minha formação acadêmica e dos meus colegas! E por terem me motivado a cada dia, durante minha formação.

Aos meus colegas de curso, que uniram forças, caminharam juntos e compartilharam conhecimentos ao longo do curso.

À Franciele Nascimento, pelo apoio, amor e carinho dedicados a mim. Por ter compreendido e aberto mão do nosso tempo para que pudesse me dedicar a este trabalho.

À minha família pelo incentivo e apoio, que foram fundamentais para conclusão do trabalho.

*“Cada sonho que você deixa para trás, é um pedaço do seu futuro que deixa de existir”  
(Steve Jobs)*

LIMA, Islas Emanuel Andrade. **Um Estudo Sobre Algoritmos de Roteamento para DTNs na Universidade Federal De Sergipe: Campus De Itabaiana**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Sistemas de Informação, Departamento de Sistemas de Informação, Universidade Federal de Sergipe, Itabaiana, 2015.

## RESUMO

*A Internet tem obtido um enorme êxito, graças ao bom funcionamento dos protocolos TCP/IP nas últimas décadas. Entretanto a arquitetura TCP/IP se baseia na existência de conectividade fim-a-fim, baixa taxa de erro, pequenos atrasos na comunicação. Em cenários com longos atrasos e frequentes desconexões, os protocolos TCP/IP não funciona adequadamente. Surgiu então um novo protocolo como alternativa, as Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (Delay-Tolerant Networking - DTN), que possibilita a transmissão de mensagens entre máquinas em ambientes que não são capazes de estabelecer e manter uma sessão de comunicação fim-a-fim com pouca perda e baixa latência. Para isso, as DTNs usam um mecanismo chamado de store-and-forward, em que os dispositivos intermediários armazenam os dados até que possam ser entregues ao destinatário. Os campus universitários é um exemplo onde esse o protcole DTNs poderiam ser aplicadas. Levando em consideração o constante aumento no número de usuários de dispositivos móveis, e a falta de interesse das universidades em gastar recursos para aumentar cobertura de sua rede, a toda área dos seus campus universitários, os dispositivos dos alunos poderiam ser utilizados para fornecer comunicação dentro do campus independente de infraestrutura local. Esse trabalho tem o intuito de analisar a eficiência dos algoritmos para redes DTNs Epidêmico, PRoPHET e o Primeiro Contato, no campus Prof. Alberto Carvalho, da Universidade Federal de Sergipe, localizado na cidade de Itabaiana. A eficiência desses algoritmos foi medida através de métricas já consolidadas através de diversos trabalhos da área. Pode ser observado que o desempenho do protocolo Primeiro Contato foi superior aos demais com uma probabilidade maior de entrega de mensagens, menor overhead, e pequena*

*quantidade de descarte de mensagens, entretanto teve uma alta latência na entrega das mensagens.*

**Palavras-chave:** DTNs. Roteamento. Universidade.

## ABSTRACT

*The Internet got a huge success, because to the good functioning of TCP/IP protocols in the last decades. However, the TCP/IP architecture is based on the existence of connectivity end-to-end, low error rate and small delays in communication. In scenarios with long delays and frequent disconnections, TCP/IP does not work properly. Then came a new protocol as an alternative, the Delay-Tolerant Networking (DTN), which enables the transmission of messages between machines in environments that are not able to establish and maintain a communication session end-to-end with little loss and low latency. For this, DTNs use a mechanism called store-and-forward, in which the intermediary devices store data until it can be delivered to the final recipient. The university campus is an example where the protocols DTNs could be applied. Considering the constant increase in the number of mobile users, and the lack of interest of universities to spend resources to increase the network coverage in every area of their campus, students' devices could be used to provide communication independent of local infrastructure. This work aims to analyze the efficiency of the algorithms DTN Epidemic, PRoPHET and the First Contact, in school, from the Federal University of Sergipe, located in Itabaiana city. The efficiency of these algorithms was measured using metrics already established through various work areas. It can be seen that the performance of First Contact protocol was superior to the others with a higher probability of message delivery, lower overhead, and a small amount of discarded messages, but had a high latency delivery of messages.*

**Key-words:** DTNs. Routing. University.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.0</b> - Representação do mapa do campus com o OpenJUMP .....	20
<b>Figura 2.0</b> - Pilha de Protocolos de uma DTN (SIMÕES, 2008). .....	24
<b>Figura 2.1</b> - Os blocos que compõem um agregado (OLIVEIRA, 2007).....	25
<b>Figura 2.2</b> - Exemplo de contato oportunista (COUTINHO, 2006).....	27
<b>Figura 2.3</b> - Exemplo de roteamento epidêmico (OLIVEIRA, 2007).....	30
<b>Figura 3.0</b> - Interface do OpenJUMP .....	36
<b>Figura 3.1</b> - Interface do ONE.....	37
<b>Figura 3.2</b> - Funcionamento do ONE (KERÄNEN, 2009). .....	39
<b>Figura 3.3</b> - O Campus Universitário Prof. Alberto Carvalho .....	41
<b>Figura 3.4</b> - Pontos de interesse criados para simulação .....	41
<b>Figura 3.5</b> - Gráfico de Overhead dos algoritmos para o cenário com diferentes quantidades de nós.....	43
<b>Figura 3.6</b> - Gráfico da quantidade de mensagens descartadas pelos dos algoritmos para o cenário com quantidades de nós diferentes .....	44
<b>Figura 3.7</b> - Gráfico da probabilidade de entrega com 200 nós .....	45
<b>Figura 3.8</b> - Gráfico da probabilidade de entrega com 400 nós .....	46
<b>Figura 3.9</b> - Gráfico da probabilidade de entrega com 800 nós .....	46
<b>Figura 3.10</b> - Gráfico da latência média .....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.0</b> - Parâmetros de Globais do simulador .....	40
<b>Tabela 3.1</b> - Tabela das probabilidades dos grupos irem aos pontos de interesse .....	42
<b>Tabela 3.2</b> - Overhead .....	43
<b>Tabela 3.3</b> - Número de mensagens descartadas pelos nós .....	43
<b>Tabela 3.4</b> - Probabilidade de entrega .....	44
<b>Tabela 3.5</b> - Latência média .....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADU	<i>Application Data Unit</i>
AODV	<i>Ad hoc On-Demand Distance Vector</i>
CHANTS	<i>CHALLENGED NeTworkS</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DTN	<i>Delay/Disruption Tolerant Networking</i>
GIS	<i>Geographical Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
h	Hora
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPN	<i>Inter-Planetary Network</i>
k	<i>Kilobit</i>
km	Quilômetro
MANET	<i>Mobile Ad Hoc Network</i>
MB	<i>Megabyte</i>
MF	<i>Message Ferrying</i>
NARP	<i>New Adaptive Routing Proposal</i>
OLSR	<i>Optimized Link State Routing Protocol</i>
ONE	<i>Opportunistic Network Environment</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
POI	<i>Points of Interest</i>
PRoPHET	<i>Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
SIG	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
s	Segundo
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UFS	Universidade Federal de Sergipe
VANET	<i>Vehicular Hoc Network</i>
WKT	<i>Well-Know Text</i>

## LISTA DE NOTAÇÕES E SÍMBOLOS

$\in$  Pertence

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Motivação	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivos Gerais	18
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Metodologia	19
<b>2</b>	<b>REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES - DTN</b>	<b>23</b>
2.2	Os Tipos de Contatos	25
2.2.1	Os Contatos Persistentes	26
2.2.2	Os Contatos sob Demanda	26
2.2.3	Os Contatos Programados	26
2.2.4	Os Contatos de Previsíveis	26
2.2.5	Os Contatos Oportunistas	27
2.3	Roteamento DTN	28
2.3.1	Cenário Estocástico	28
2.3.1.1	Roteamento Epidêmico	28
2.3.1.2	Roteamento Baseado em Estimativa	29
2.3.1.3	Roteamento Baseado em Modelo	29
2.3.1.4	Roteamento Baseado no Controle do Movimento do Nó	29
2.3.2	Algoritmos de roteamento	29
2.3.2.1	Epidêmico	29
2.3.2.2	PRoPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity)	30
2.3.2.3	Primeiro Contato	31
2.4	Modelos de Mobilidade	31
2.4.1	Modelos Puramente Sintéticos	31
2.4.1.1	Random Walk Mobile Model	32
2.4.1.2	Random Waypoint – RWP	32
2.4.1.3	Smooth Random	32

2.4.2	Modelos Baseados em Traces .....	33
2.4.2.1	Levy-walk .....	33
2.4.2.2	Shortesrt Path Map-Based Movement Model (SPMBM) .....	34
3	AMBIENTE DE SIMULAÇÃO .....	35
3.1	Representação de mapas com OpenJUMP .....	35
3.2	O Simulador ONE .....	36
3.3	Cenário de Simulação e Parametrização .....	39
3.4	Os Resultados .....	43
4	CONCLUSÃO .....	48

# 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, estar conectado digitalmente é fundamental para se sentir incluído em um mundo cada vez mais dinâmico. Os meios de comunicação não são importantes apenas para as organizações, que desejam que seus funcionários se comuniquem de forma mais eficiente, mas também para as pessoas nas suas vidas privadas, que querem se sentir mais conectados e socialmente integrados (SILVA FILHO, 2010).

A popularização dos dispositivos móveis colabora para o surgimento de novos ambientes de rede. A característica de mobilidade desses dispositivos contribui para que as redes constituídas por esses aparelhos se tornem muito propícias a atrasos e desconexões (JOB, 2010). Justamente nesses ambientes onde falta estrutura de rede, os serviços de comunicação não funcionam adequadamente (FARRELL, 2006).

As características dessas redes forçam as aplicações nesses ambientes se comportarem de maneira diferente em relação a uma rede tradicional. Para esse cenário se torna necessária a busca de outra alternativa para contornar esses problemas, e prover uma forma de comunicação nesses casos. Redes que funcionariam bem nesses ambientes, são as chamadas de redes tolerantes a atrasos e desconexões (Delay and Disruption Tolerant Networks - DTNs) (DEMMER, 2004).

Existem diversas aplicações para redes DTN, como por exemplo: redes de mobilidade terrestre, transmissões espaciais, onde os sistemas são sujeitos à particionamentos, grandes latências e interrupções (FALL, 2003).

Segundo JOB (2010) (FALL, 2003), de forma geral, a arquitetura DTN fornece uma maneira comum de interconectar redes diferentes, funciona com o modelo do armazenamento e encaminhamento de mensagens roteadas em comunicações com desconexões, provendo também um serviço de envio de mensagens parecido com o correio eletrônico.

Nos ambientes desafiadores, de acordo com JOB (2010) (OBRACZKA, 2009), os nós da rede colaboram entre si, sendo os próprios nós os responsáveis pela execução de algoritmos de roteamento e controle de congestionamento. O que torna a figura do roteador cada vez menos necessária.

Esse trabalho tem o intuito de analisar a eficiência dos principais algoritmos existentes na literatura aplicada para redes DTNs do tipo estocásticas, em um cenário universitário, onde

a topologia da rede não é conhecida. Essa eficiência será medida através de métricas já consolidadas através de diversos trabalhos da área.

Pela diversidade de cenários existentes na literatura e para fins de definição de escopo deste trabalho, serão analisadas a aplicação dos algoritmos de roteamento: PROPHET (*Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity*), Primeiro Contato e Epidêmico, em um cenário de um campus universitário.

## **1.1 Motivação**

Com a chegada dos dispositivos móveis, prover comunicação em campus universitários tornou uma tarefa muito complexa, visto que muitas universidades não estão dispostas em investir em uma infraestrutura que abranja de comunicação em toda área dos seus campus. Para isso, os próprios dispositivos dos alunos poderiam ser usados, para prover a troca de mensagens entre estudantes e funcionários, facilitando, por exemplo, a disponibilização de jornais e divulgação de eventos.

Uma forma de resolver tais problemas para fornecer serviços de comunicação de rede, é por meio de redes DTN, uma vez que os nós da rede se auto organizam e não dependem de uma infraestrutura para funcionarem. No entanto, por conta deste cenário possuir características singulares, é importante escolher dentre protocolos os protocolos existentes, o melhor funciona nesse ambiente, com a finalidade de usufruir ao máximo seus recursos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos Gerais**

O objetivo deste trabalho é identificar o algoritmo que possui o melhor desempenho para uso em um ambiente universitário. Para isso serão simulados alguns dos principais algoritmos de roteamento para redes tolerante a atrasos para transmissão e recepção de mensagens de dados em um cenário universitário, afim de analisar o desempenho com base em métricas coletadas através de simulações. Sendo que essas métricas são fundamentais para decisão da escolha do melhor algoritmo para o uso em aplicações no cenário real, possibilitando melhora na comunicação nesses ambientes.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para realizar as simulações, será criado o mapa, e configurados os modelos de movimentação dos nós da rede, e os demais parâmetros de simulação.

Após a realização das simulações, espera-se que a performance dos algoritmos DTNs PRoPHET, Primeiro Contato e Epidêmico possam ser analisados, e comparados, levando em consideração às métricas de desempenho.

## 1.3 Metodologia

De acordo com VERGARA (2000), esta é uma pesquisa de laboratório, pois, “é a experiência realizada em local circunscrito, já que no campo seria praticamente impossível realizá-la”. Ainda segundo o autor, esta pesquisa é também exploratória, em razão de ser estudada uma área na qual não existe muito conhecimento acumulado e sistematizado, e os resultados são baseados em hipóteses.

Inicialmente foram estudados os principais conceitos a fim de definir quais os algoritmos e melhores modelos de movimentação para serem usados na simulação.

Foram escolhidos três algoritmos, com diferentes características. O primeiro foi o Epidêmico, escolhido para representar os algoritmos de replicação, isto é, somente repassa as mensagens para os nós que estão ao alcance e não as possuem, sem nenhuma espécie de cálculo. O Epidêmico também foi escolhido por ser um algoritmo bastante usado na literatura para ser comparado com outros algoritmos.

Outro algoritmo usado nas simulações foi o algoritmo Primeiro Contato (*First Contact*), um algoritmo simples, que mantém apenas uma cópia da mensagem na rede, assim, como o próprio nome sugere, ele passa a mensagem ao primeiro nó com o qual vier a estabelecer contato.

Por último foi escolhido o PRoPHET, da mesma forma que o Epidêmico, é também muito utilizado em comparações na literatura. O PRoPHET usa cálculos probabilísticos para selecionar a melhor rota para mensagem.

Para a execução da pesquisa, foi utilizado o ONE para realização das simulações dos algoritmos de roteamento no cenário universitário, e foi usado o OpenJump, um software de sistema de informação geográfica, para a fazer representação do mapa do campus da UFS,

Professor Alberto Carvalho, localizado na cidade de Itabaiana, Sergipe, respeitando as escalas reais, tendo como base imagens de satélites extraídas do site Google Maps.

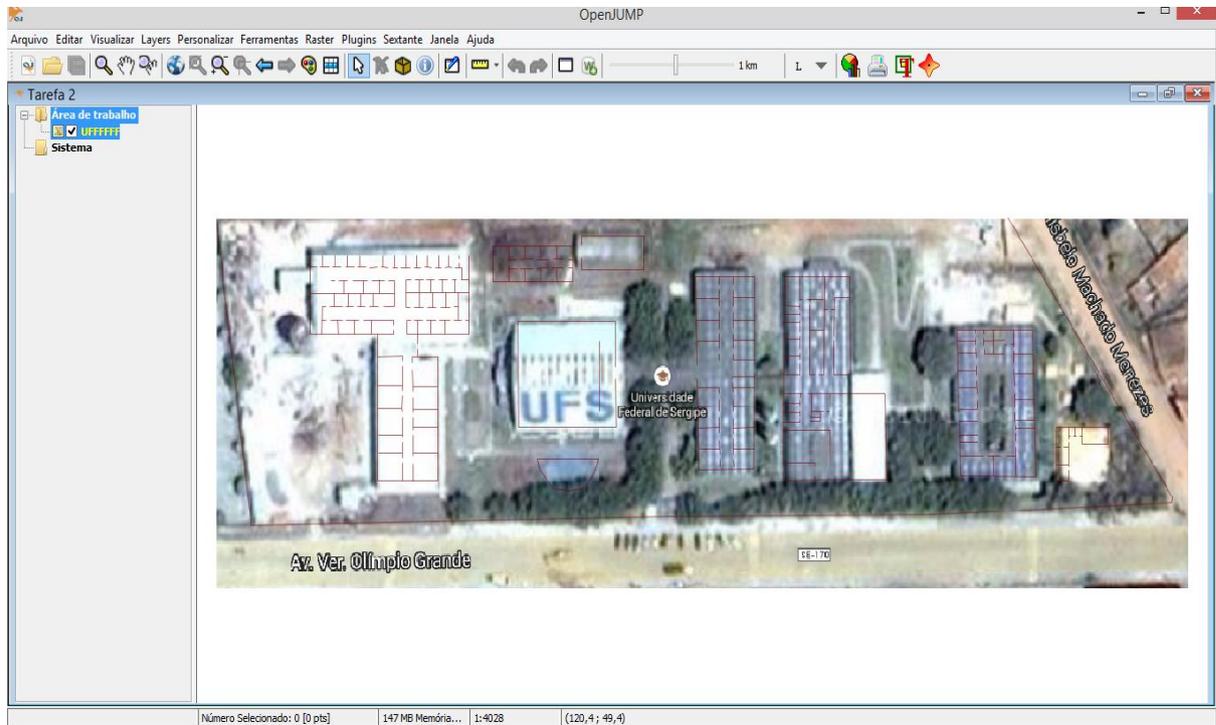


Figura 1.0: Representação do mapa do campus com o OpenJump

Para fazer as simulações serão configurados os parâmetros, e o modelo de movimentação dos estudantes e funcionários contidos no cenário.

As métricas escolhidas para a simulação foram as mesmas usadas em trabalhos conceituados (HIU, 2008) (ROLIM, 2013).

a) *probabilidade de entrega* – porcentagem de mensagens enviadas que chegaram aos seus destinatários;

b) *descarte de mensagens* – número de mensagens descartadas pelos nós;

c) *latência média* – tempo médio desde a criação da mensagem até sua entrega ao destino;

d) *overhead* (número de cópias das mensagens) – avaliação da eficiência de largura de banda.

Depois dos algoritmos e métricas de desempenho serem selecionados, serão realizadas três rodadas para cada algoritmo variando o número de nós. E por fim as métricas coletadas para a análise e conclusão do desempenho.

### 1.3 Trabalhos Relacionados

As redes tolerantes a atrasos são um assunto muito comum na literatura (HOSSMANN; SPYROPOULOS; LEGENDRE, 2008), (OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2009), (ANDRADE, G. E.; LIMA, L. A. P.; CALSAVARA, A.; MAZIERO, 2013), (OLIVEIRA JÚNIOR, J. A.; LIMA JUNIOR, L. A. P.; ANDRADE, G. E, 2014). A medida que novos protocolos de roteamento são propostos a sua eficiência é quase sempre medida através de métricas geradas por simuladores.

Em OLIVEIRA (2008), é apresentada uma proposta de roteamento probabilístico que lida com informações imprecisas sobre as conexões futuras da rede. Para avaliar a eficiência do protocolo de roteamento probabilístico foi implementado em um simulador DTN e utilizados dados de um cenário real tolerante a atrasos e desconexões. O desempenho dos protocolos de roteamento Probabilístico Contato Direto, Primeiro Contato, Epidêmico foram comparados.

MOHAMMAD (2013) apresentou um artigo no qual um novo algoritmo baseado no conceito de previsibilidade, uma vez que apresenta uma melhor gestão de recursos em termos de largura de banda, a entrega de mensagens em comparação com outros algoritmos de roteamento Epidemic routing, Prophet, Spray and wait, MaxProp e Rapid, o mapa de uma cidade foi usada na simulação.

Em MAMOUN (2013) foi proposto o algoritmo de roteamento NARP usa a mensagem encaminhamento esquema de probabilidade, a fim de aumentar a taxa de entrega e utilização de banda. A Simulação de NARP foi realizado e seu desempenho foi comparado com protocolos de roteamento DTN Epidêmico, e Spray and Wait, dentro de um cenário urbano onde carros e pessoas trafegam em ruas e avenidas.

ALMEIDA (2011) avaliou o desempenho dos protocolos MANET (AODV e OLSR) e DTN (Epidêmico e Spray And Wait) em dois diferentes cenários, o primeiro de movimentação aleatória e sem restrições na movimentação e o segundo de redes de emergência em uma cidade. Foi notado que o desempenho de cada protocolo dependeu do cenário em que este foi analisado, nenhum protocolo apresentou desempenho superior aos outros em todos os cenários.

Neste trabalho, ao neste trabalho foi reproduzido o cenário de um campus universitário em que há uma grande concentração de nós em alguns pontos do mapa e pouca

movimentação, e como na maioria dos trabalhos foram escolhidos algoritmos com características diferentes para serem avaliados.

## 2 REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES - DTN

Graças ao bom funcionamento dos protocolos TCP/IP nas últimas décadas, a Internet tem obtido um enorme êxito. Porém sua arquitetura se baseia na existência de conectividade fim-a-fim, pequenos atrasos na comunicação, baixa taxa de erro e procedimentos para reparar erros (FERNANDES, 2009).

A comunicação rural, comunicação submarina, comunicação entre dispositivos móveis, são exemplos, no qual os atrasos na comunicação são muito grandes, a taxa de erro é alta e desconexões são frequentes. Segundo (DEMMER, 2004), esses são ambientes que não são capazes de estabelecer e manter uma sessão de comunicação fim-a-fim com pouca perda e baixa latência. É neste contexto dos ambientes desafiadores, que surgem as redes tolerantes a atrasos e desconexões - DTN (FALL, 2004).

Estes eventos podem resultar em uma conectividade intermitente da rede durante um período ou, ainda, pode ser que um caminho entre a origem e o destino nunca chegue a ficar completamente conectado (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com ZHANG (2006) Redes Tolerantes a Atrasos “são redes sem fio em que desconexões são tão frequentes que, na maioria do tempo, não existe um caminho completo entre uma origem e um destino”.

O conceito de DTN teve origem no projeto Inter-Planetary Network (IPN), com o objetivo principal de descobrir como as técnicas e os protocolos da internet terrestre poderiam ser usados no espaço (JOB, 2010). Para isso, em CERF (2002) foi proposta uma arquitetura que armazena temporariamente as mensagens e reencaminha quando houver o retorno da comunicação.

Embora o termo DTN seja mais comum na literatura, essas redes também podem ser chamadas de: redes desconectadas, redes com conectividade eventual, redes móveis parcialmente conectadas, redes com conectividade transiente, redes incomuns ou redes extremas e Redes com Desafios (CHALLENGED NeTworkS - CHANTS) (CHEN, 2006).

### 2.1 Arquitetura DTN

A arquitetura DTN está descrita na RFC 4838, neste documento é definido como os nós da rede devem se organizar para armazenar e encaminhar mensagens nos cenários DTN (CERF, 2007).

A arquitetura DTN se baseia principalmente na inserção de uma sobrecamada chamada de camada de agregação (*bundle layer*). A camada de agregação é uma camada específica das redes DTN, e é a principal diferença em relação à Internet (COUTINHO, 2006). Essa sobrecamada se situa estrategicamente entre a camada de aplicação e a de transporte para, permitindo o desenvolvimento de aplicações sem se preocupar com as características da rede e garantia de interoperabilidade entre diversos tipos de redes. A principal função desta sobrecamada (*overlay*) é realizar o armazenamento persistente e a comutação de mensagens (*store-and-forward*). Essas duas características permitem contornar vários problemas causados pelos cenários DTN (SIMÕES, 2008). Cada mensagem enviada deverá ir até a camada de agregação e não apenas até a camada de rede como na Internet.

Como é mostrado na Figura 2.0, as camadas abaixo da camada de agregação (*bundle*) são definidas de acordo com o cenário de comunicação de cada região, podendo ser específicas para cada região englobada pela DTN.

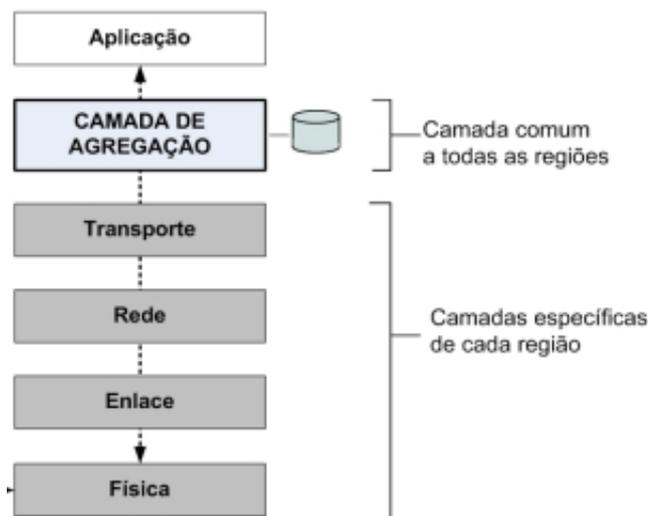


Figura 2.0: Pilha de Protocolos de uma DTN (SIMÕES, 2008).

O protocolo de agregação (*bundle protocol*) foi definido na RFC 5050 (SCOTT, 2007). Um aplicativo DTN envia mensagens de comprimento variado, denominado Unidades de Dados da Aplicação (*Application Data Units - ADUs*) (CERF, 2007). A camada de agregação transforma as Unidades de Dados de Aplicação em uma ou mais unidades de dados

de protocolo (*Protocol Data Units - PDUs*) chamadas de agregados (*bundles*), os mesmos são armazenados e encaminhados pelos nós DTN. Um único agregado pode várias cópias espalhadas em diversos locais da rede ao mesmo tempo, armazenados em memória ou em trânsito entre os nós. O termo agregado foi escolhido para ser usado em DTNs para lembrar que cada mensagem deve conter o máximo de informações possível para que a mensagem seja enviada até seu destino em uma única viagem para evitar a sequência de trocas de mensagens que são normalmente feitas numa transferência de dados de uma rede TCP/IP (CERF, 2007).

Cada agregado é formado por dois ou mais blocos. O primeiro bloco é chamado de bloco primário. Esse bloco contém as informações básicas para encaminhar um agregado até o destino. Cada agregado deve ter obrigatoriamente um bloco primário. Apenas um dos blocos pode conter a carga útil (*payload*) dos dados. Os blocos primário e secundário, podem vir seguidos por outros blocos com campos adicionais, chamados de blocos de extensão, que ainda estão sendo definidos na especificação do protocolo (OLIVEIRA, 2007).



Figura 2.1: Os blocos que compõem um agregado (OLIVEIRA, 2007).

Regiões na arquitetura DTN, é uma área onde as redes que possuem as mesmas características de comunicação. A rede DTN provê a comunicação entre os diversos tipos de redes regionais, suportando as ocasionais faltas de conectividade e as diferentes latências das redes (COUTINHO, 2006).

## 2.2 Os Tipos de Contatos

Em DTNs os contatos são muito importantes, a infraestrutura das DTNs é formada pelas ligações entre os nós (*links*) (JOB, 2010). O modelo de rede DTN é um grafo de uma topologia que varia no tempo, nas quais os vértices são representados pelos nós e as arestas entre os nós são representadas pelas oportunidades de comunicações que são os contatos (DEMMER, 2004).

Em ambientes DTNs, não se pode assumir que todos os nós podem ser contatados todo tempo como na internet convencional, em que todos os nós são sempre alcançáveis. Desse

modo, na arquitetura DTN um contato consiste em uma oportunidade para os nós se comunicarem (MELO, 2011).

Em DTN, os contatos são divididos cinco tipos, os oportunistas, os programados, os persistentes, os sob demanda e os previsíveis (CERF, 2002).

### 2.2.1 Os Contatos Persistentes

Os contatos persistentes estão sempre disponíveis, ou seja, nenhuma ação é DTN necessária para iniciar um contato persistente (CERF, 2002). Um exemplo de contatos persistentes é a *Digital Subscriber Line* (DSL) (OLIVEIRA, 2007).

### 2.2.2 Os Contatos sob Demanda

De acordo com CERF (2002), os contatos sob demanda são contatos que precisam de alguma ação para criar uma instância, depois de estanciado, funcionam como contatos persistentes até que sejam finalizados. A conexão dial-up é um exemplo de um contato sob demanda (do ponto de vista do discador).

### 2.2.3 Os Contatos Programados

Um contato programado é preestabelecido por dois ou mais nós antes da troca de dados. Nesse tipo de contato os nós sabem quando e por quanto tempo a comunicação vai ocorrer. Nas redes com contatos programados é necessária a sincronização para que a troca de informações seja realizada com êxito (CERF, 2002).

Um exemplo de comunicações com contatos programados é uma rede de sensores em que determinados nós “despertam” em horários preestabelecidos, e “hibernam”, nos horários não programados, para economizar recursos. (OLIVEIRA, 2007).

### 2.2.4 Os Contatos de Previsíveis

Segundo CERF (2002), nos contatos previsíveis os nós podem prever o horário e/ou a duração dos contatos. Na maioria das vezes, as informações usadas nas previsões são extraídas de histórico de contatos entre os nós da rede. Nos contatos previsíveis, diferentemente do contato programados, existe a probabilidade de contatos não ocorrerem.

Assim, as rotas da origem ao destino podem ser previstas, mas não existe garantia da ocorrência dos contatos, muito menos de horário ou duração (OLIVEIRA, 2007).

### 2.2.5 Os Contatos Oportunistas

O tipo mais comum em DTN, eles acontecem sem nenhuma previsão (JOB, 2010), e esse será o tipo de contato utilizado neste trabalho.

Os contatos oportunistas ocorrem em ambientes onde não se podem fazer suposições a respeito de quando existirá alguma conexão entre os nós. Normalmente, os nós que constituem contatos oportunistas não possuem qualquer informação sobre a localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós, já que os nós são independentes em relação aos seus movimentos (OLIVEIRA, 2007).

A comunicação é possível mesmo que não exista um caminho inteiramente conectado entre a origem e o destino no momento do envio, pois os outros nós encontrados ao acaso são usados como intermediários que repassam a mensagem da origem até o destino (OLIVEIRA, 2007).

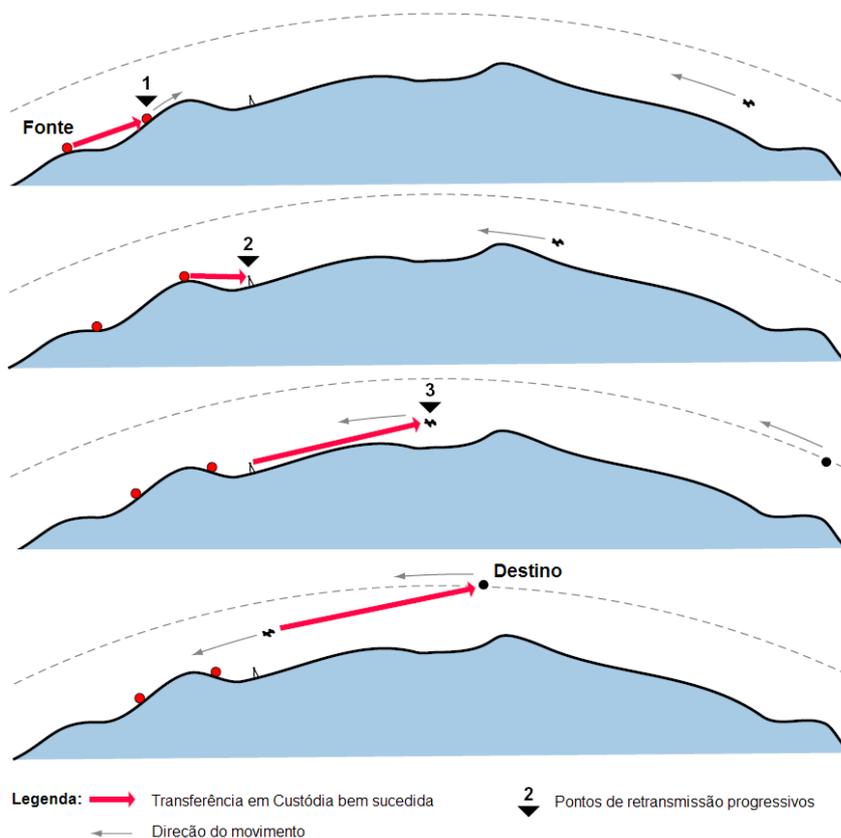


Figura 2.2: Exemplo de contato oportunista (COUTINHO, 2006).

## 2.3 Roteamento DTN

Os problemas encontrados nas redes DTN, como a constante mudança da sua topologia, fazem com que os protocolos de roteamento convencionais não consigam fazer a transmissão dos dados (MELO, 2011). Para esse tipo de rede é imprescindível o uso de protocolos diferentes que consigam lidar com as características da rede.

Em virtude do pouco ou nenhum conhecimento do estado da rede a cada momento, existem diversos protocolos de roteamento, com diferentes estratégias.

Segundo ZHANG (2006), os protocolos de roteamento DTN podem ser divididos pelo grau de conhecimento da topologia da rede, em dois cenários, são eles, o cenário determinístico e o cenário estocástico. As redes determinísticas conhecem as mudanças da topologia da rede, assim pode calcular o caminho das mensagens com antecedência. Já nas estocásticas, foco deste trabalho, as mudanças na sua topologia não são conhecidas, ou seja, a movimentação dos nós é randômica.

### 2.3.1 Cenário Estocástico

O cenário estocástico se caracteriza pela movimentação aleatória dos nós, sendo assim os nós não tem informação sobre o estado da rede. Por esse motivo, não conseguem calcular a melhor rota para a entrega das mensagens (MELO, 2011).

Para tentar aumentar a probabilidade de entrega das mensagens, os protocolos podem usar métodos que tomam decisões, por exemplo, a partir do histórico do comportamento.

#### 2.3.1.1 Roteamento Epidêmico

Como o próprio nome sugere, o roteamento epidêmico faz a troca de mensagens como se fosse uma epidemia, ou seja, o nó remetente envia a mensagem para todos os nós que tiver contato, o processo se repete com os nós que recebem a mensagem (infectados), que replicam a mensagem da mesma forma, transferindo e recebendo os dados para todos os nós dentro do seu raio de alcance, até que a mensagem, eventualmente, chegue ao nó destino (MELO, 2011). Deste modo as mensagens são ligeiramente espalhadas pela rede.

Ainda de acordo com MELO (2011) a possibilidade das mensagens serem entregues crescem à medida que a densidade e a mobilidade dos nós na rede aumentam.

### 2.3.1.2 Roteamento Baseado em Estimativa

O roteamento baseado em estimativa sugere que os dados sejam transmitidos para os outros nós usando métodos que tomam decisões a partir de cálculos estimativos, realizados pelos próprios nós, para tentar aumentar a probabilidade das mensagens serem entregues com sucesso (MELO, 2011).

Esse tipo de roteamento possui uma característica que pressupõe que se um nó encontra outro que frequentemente se comunica com nó destino, esse nó provavelmente o nó conseguirá encaminhar a mensagem ao destino (DUARTE, 2008).

### 2.3.1.3 Roteamento Baseado em Modelo

Diferente dos tipos de roteamento anteriores, esse tenta se identificar a movimentação dos nós no cenário. A partir do padrão de deslocamento de cada nó, as mensagens são encaminhadas para os nós que tenham uma maior probabilidade do nó ir de encontro ao nó de destino (MELO, 2011).

### 2.3.1.4 Roteamento Baseado no Controle do Movimento do Nó

Esse protocolo é também conhecido como *Message Ferrying* (MF), ele tem como principal característica o controle de alguns nós da rede, que são usados para tentar melhorar o desempenho das DTN. Esses nós gerenciados são chamados de balsas, e são utilizados para levar as mensagens para os demais nós que estão espalhados pela rede (MELO, 2011).

## 2.3.2 Algoritmos de roteamento

A seguir serão descritos os algoritmos usados neste trabalho: o Epidêmico, PRoPHET e Primeiro Contato que serão descritos a seguir.

### 2.3.2.1 Epidêmico

Proposto por VAHDAT e BECKER (2000) O algoritmo epidêmico é o algoritmo de roteamento mais simples, a ideia é replicar a mensagem para todos os nós que encontrar.

Portanto, quando um nó encontra outro, ele passa e recebe as mensagens que não têm em comum. Para esse algoritmo, a probabilidade do destino ser alcançado em menor tempo aumenta junto com a densidade dos nós na rede (MELO, 2011).

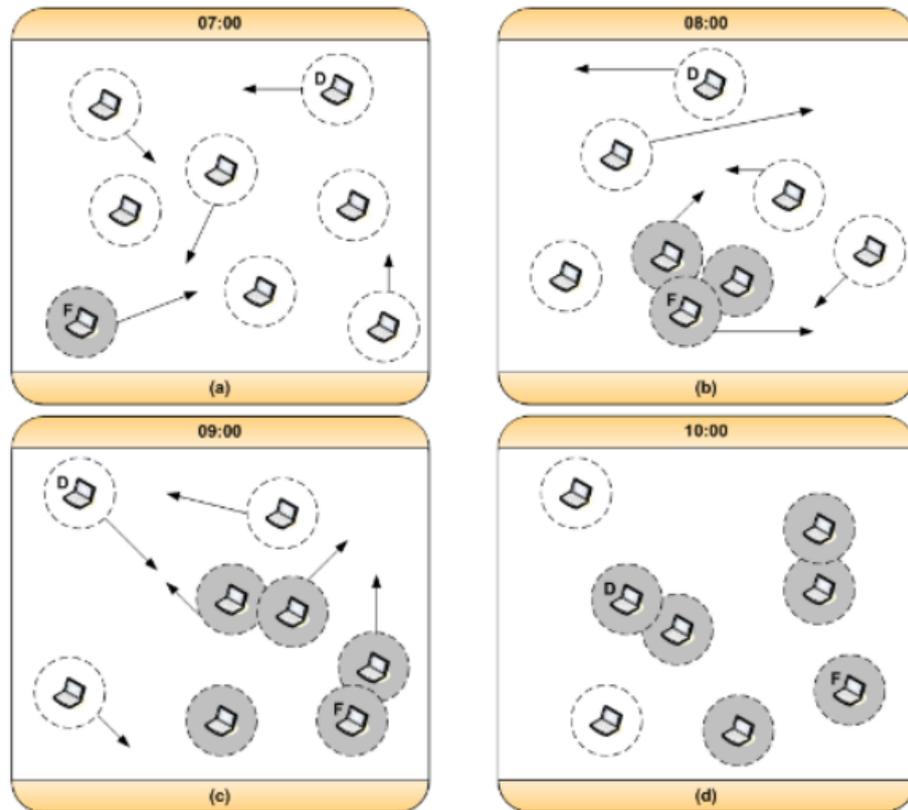


Figura 2.3: Exemplo de roteamento epidêmico (OLIVEIRA, 2007)

Segundo VIEIRA (2012), a medida o número réplicas de mensagens na rede aumenta, o espaço do buffer tende a se esgotar, esse problema faz com que o protocolo não seja escalável.

### 2.3.2.2 *PRoPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity)*

Proposto por LINDGREN (2003), o PRoPHET é um algoritmo que utiliza o roteamento baseado em estimativas, ou seja, usa o histórico de conectividade dos nós para entregar a mensagem ao destinatário de forma eficiente. Esse algoritmo parte do princípio que os nós da rede possuem um padrão de movimentação. Dessa forma, o algoritmo dá prioridade no repasse da mensagem para o nó que tem mais encontros com o nó de destino. Assim, quando dois nós se conectam a mensagem só é passada se a probabilidade de entrega for

maior do que a do nó que possui a mensagem, caso contrário à mensagem não é repassada (CORREIA, 2011).

De acordo com FERNANDES (2009), o algoritmo funciona da seguinte forma, cada vez que essa lista é trocada o parâmetro da probabilidade de cada nó entregar mensagens para um destino conhecido  $b$  ( $P(a,b) \in [0, 1]$ ) é atualizado. O valor de  $P(a,b)$  aumenta sempre que  $a$  e  $b$  se encontram e reduz se  $a$  e  $b$  não se encontram com frequência. Existe também um parâmetro  $k$  chamado de constante de envelhecimento, que equivale ao número de unidades de tempo decorrido desde a última vez que o valor foi atualizado.

Segundo CORREIA (2011), o P<sub>Ro</sub>PHET demonstra um bom desempenho em redes com alta mobilidade ou que possuem nós com grandes alcances de comunicação, o que contribuem para uma maior quantidade de encontros entre os nós, o que portanto permite que mais informações sobre a probabilidade de entrega sejam trocadas.

### 2.3.2.3 Primeiro Contato

Segundo JAIN (2004), nesta técnica, a mensagem é transmitida para algum dos vizinhos escolhido aleatoriamente entre todos os contatos que estão ao alcance, depois que a mensagem é transmitida ela é apagada, mantendo assim apenas uma cópia da mensagem na rede. Se houver nenhum nó disponível para transmissão da mensagem, a mesma é armazenada até que algum esteja disponível.

## 2.4 Modelos de Mobilidade

Segundo HARGREAVES (2006), modelos de mobilidade são utilizados para fazer a representação do movimento de dispositivos móveis em simulações de redes. Não existe um acordo na maneira de classificação dos modelos de mobilidade, porém MUSOLESI (2008) faz uma classificação com base no uso de registros da movimentação real no modelo (baseados em *traces*) ou sem o uso desses registros (puramente sintéticos), apenas usando equações analíticas.

### 2.4.1 Modelos Puramente Sintéticos

Como dito anteriormente os modelos de mobilidade puramente sintéticos são desenvolvidos a partir apenas de fórmulas matemáticas. Seguem alguns dos principais modelos usados na literatura.

#### *2.4.1.1 Random Walk Mobile Model*

O modelo de mobilidade *Random Walk Mobile Model* (modelo de mobilidade de percurso aleatório) foi criado para representar a movimentação dos seres vivos. É um dos modelos de mobilidade mais utilizados pelos pesquisadores devido à sua simplicidade de implementação e utilização (CAMPOS, 2010).

Nesse modelo de mobilidade o dispositivo é colocado randomicamente em qualquer ponto no cenário de simulação, depois é escolhida uma velocidade entre a velocidade mínima e máxima estipulada e uma direção no ângulo de 360 graus para ser percorrida durante um período de tempo. A direção do dispositivo será alterada depois de um intervalo de tempo, ou quando o dispositivo a chegar ao limite do cenário. Esse processo se repete até o fim da simulação (GUPTA, 2013).

Portanto, esse modelo pode gerar mudanças de direção, paradas e acelerações bruscas no movimento do dispositivo, ou seja, movimentos não realísticos.

#### *2.4.1.2 Random Waypoint – RWP*

O modelo *Random Waypoint* é atualmente o modelo mobilidade mais utilizado. Esse modelo é muito semelhante ao anterior (*Random Walk Mobile Model*), a principal diferença é o chamado tempo de pausa. O dispositivo móvel fica em um local por um determinado intervalo de tempo, depois se move para um novo ponto escolhido randomicamente (CAMPOS, 2010).

Entretanto, CAMPOS (2010) enfatiza comportamentos indesejáveis que esse modelo apresenta, como variações bruscas na velocidade, comportamento zigue-zague na direção do movimento e distribuição espacial não uniforme dos nós, evidenciando um comportamento não realístico.

#### *2.4.1.3 Smooth Random*

A ideia por trás deste modelo de mobilidade é fazer o movimento dos dispositivos móveis o mais suave e realista do que os modelos propostos até então (BETTSTETTER, 2001). Dois processos estocásticos são utilizados para direção e controle de velocidade em que os novos valores de velocidade e direção são correlacionados com os anteriores. Essa correlação é o que torna o movimento mais suave, porque omite as curvas fechadas e paradas súbitas (BETTSTETTER, 2001). Esse algoritmo também permite a definição de velocidade típica, que se assemelha aos comportamentos de movimento dos veículos e pedestres. O *Smooth Random* usa o conceito de desaceleração dos nós, inspirado pelas leis da física. Isto significa que, se um veículo deve parar em um dado momento e local, primeiro desacelera antes da parada (OZKASAP, 2006).

Apesar de esse modelo evitar paradas e acelerações abruptas no movimento, ele não evita mudanças bruscas de direção (CAMPOS, 2010).

## 2.4.2 Modelos Baseados em Traces

Os modelos baseados em trace são obtidos de dados de movimentações reais e podem ser melhorados com ajuda de modelos matemáticos (PAULA, 2009).

Os modelos de mobilidade vistos até o momento, nem sempre representam corretamente a movimentação de nós móveis em cenários reais (KURKOWSKI; CAMP; COLAGROSSO, 2005). RHEE (2011) afirma que não existe nenhum experimento que valide os modelos anteriores. BEZERRA (2009) cita diversos problemas, como o fato de paradas e mudanças abruptas de movimento, a distribuição não uniforme dos nós, movimentos de ziguezague, entre outros.

Segundo CAMPOS (2010), têm surgido novos modelos mais próximos de cenários reais, que levam em consideração a existência de obstáculos, com características extraídas de cenários reais e modelos baseados em registros de movimentação de usuários. Abaixo segue alguns exemplos.

### 2.4.2.1 *Levy-walk*

RHEE (2011) propõe um modelo de mobilidade realístico denominado *Levy-walk*, que é fundamentado na distribuição *Lèvy* e foi refinado através do movimento humano capturado por equipamentos GPS.

RHEE (2011) define tempo de voo, como a distância que o dispositivo cursa sem mudar a direção do movimento ou fazer pausas. Ou seja, usa movimentos curtos seguidos de alguns longos e pausas para representar o movimento humano. Esse é um modelo muito complexo, possui muitos parâmetros e é difícil de ser ajustado. (BEZERRA, 2009)

#### 2.4.2.2 *Shortesrt Path Map-Based Movement Model (SPMBM)*

O modelo *Shortesrt Path Map-Based Movement Model (SPMBM)* é bastante semelhante ao *Levy-Walk*, é também usado para representar os nós pedestres em simulações (MOSCHETTO, 2012). Mas diferentemente do *Levy-Walk*, o SPMBM considera obstáculos dos cenários, como, paredes.

Este modelo primeiramente escolhe a posição inicial dos nós no cenário randomicamente, assim como os destinos para cada nó. Porém para a escolha do melhor caminho a ser percorrido pelo nó até o destino é utilizado o algoritmo de *Dijkstra*, pois esse modelo considera que o nó é um pedestre que conhece o trajeto (KERÄNEN, 2009). Quando o nó chega ao ponto de destino, ele faz uma pausa e em seguida um novo destino é definido para esse nó (MOSCHETTO, 2012).

Nesse modelo podem ser definidos pontos de interesse (POIs), esses pontos têm maior chance de serem escolhidos pelos nós, ajudando a simulação a se tornar mais realista. Assim será o modelo de movimento usado nas simulações.

### 3 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

O cenário de simulação, a representação dos mapas, o simulador e os resultados das simulações são apresentados neste capítulo.

#### 3.1 Representação de mapas com OpenJUMP

OpenJUMP é um programa GIS (Geographical Information System) ou SIG (Sistema de Informação Geográfica) *open source*, escrito na linguagem de programação Java. Idealizado pelo Ministério de Recursos Sustentáveis da Columbia Britânica Canadá, e desenvolvido pela VividSolutions, com o intuito de representar estradas e rios em mapas digitais, apesar de ser flexível para ser usado para grande parte de tipos de dados espaciais, como limites de estados, estações de energias, imagens de satélite, dentre outros em duas dimensões. (RIBEIRO, 2010).

A interface do OpenJUMP é bastante simples. Uma série de ferramentas podem ser encontradas em uma pequena janela e você pode usá-los para desenhar e editar. Com ele possível trabalhar em camadas separadas. Além de criar e nomear camadas, permite também organizá-las em categorias. É possível também importar imagens, em diversos formatos, como novas camadas. Isso é útil para criação mapa.

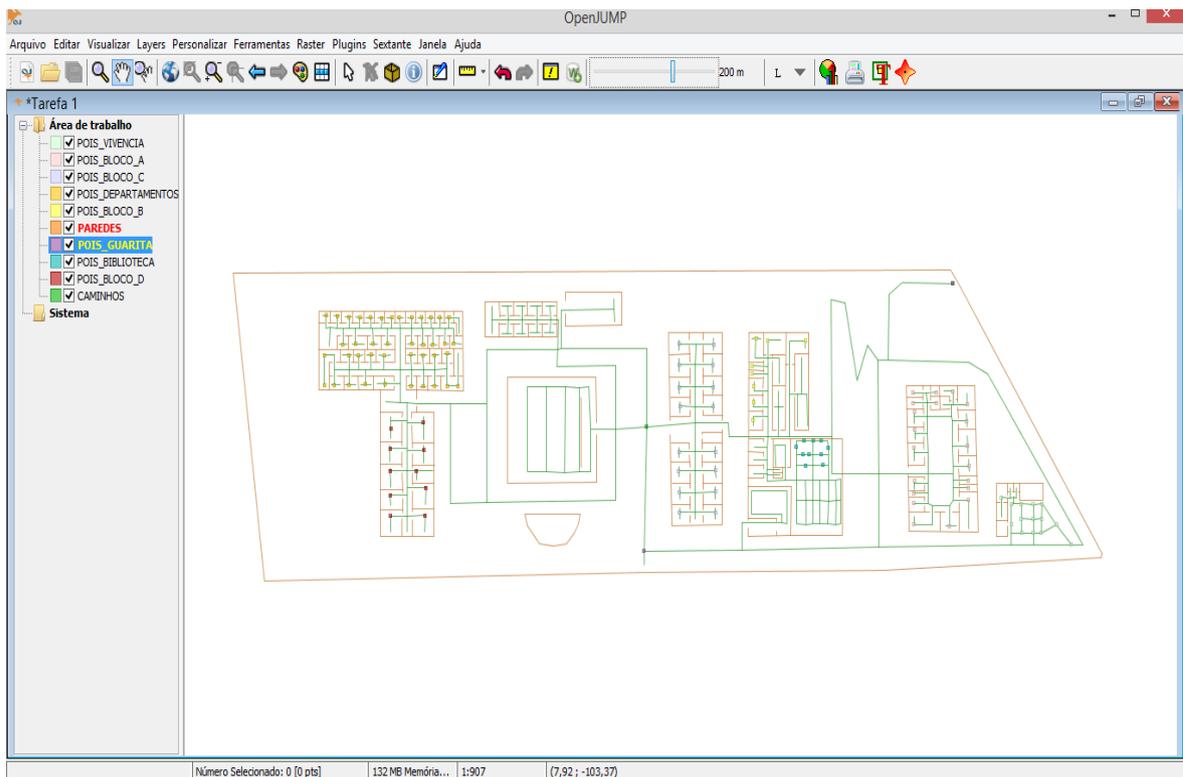


Figura 3.0 - Interface do OpenJUMP

O projeto pode ser salvo no formato nativo do software, ou em vários outros formatos, entre eles está o WKT (Well-Know Text), que se encaixa como parte deste trabalho, visto que o simulador ONE suporta arquivos neste formato.

### 3.2 O Simulador ONE

O Opportunistic Network Environment (ONE) é um simulador *open source*, escrito em Java, desenvolvido especialmente para avaliar roteamento e protocolos de aplicação de Rede Tolerante a Atrasos (HARIS, 2010). O ONE permite gerar a movimentação do nó usando diferentes modelos de mobilidade, rotear mensagens entre os nós usando algoritmos de roteamento DTN, permite visualizar a mobilidade, além da transmissão e recepção de mensagens em tempo real através da interface gráfica do usuário. Nele também é possível importar mapas e modelos de mobilidade sintéticos ou baseados em traces. Além de gerar diversos relatórios (KERÄNEN, 2009).

Neste simulador, a coleta de resultados e análise são feitas através de visualização, relatórios e ferramentas de pós-processamento. Os elementos e as suas interações são mostrados na figura a seguir.

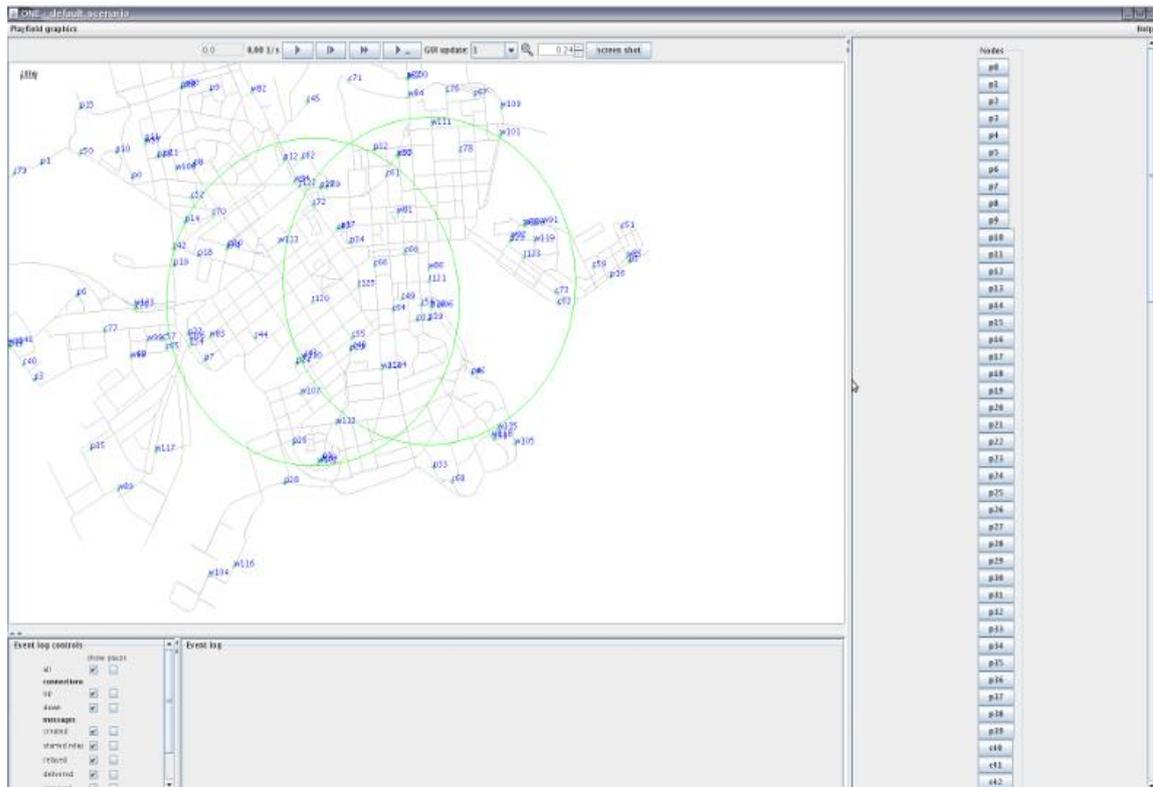


Figura 3.1: Interface do ONE

Para que o simulador funcione, o usuário deve configurar o cenário de simulação que é composto por: mapa, grupos de nós, eventos, protocolos de roteamento, modelos de movimentação e relatórios.

**Mapas:** Apesar de não ser um item obrigatório para simulação, pode ser útil quando desejamos representar o conjunto de pontos e retas nos quais os grupos de nós irão transitar. O ONE permite exportar as informações do mapa no formato wkt. O mapa pode ter um bitmap de fundo. Os pontos podem ser definidos a partir de uma lista de Pontos de Interesse (POI). Estes POIs pode ser escolhido para corresponder destinos do mundo real populares, como atrações turísticas, lojas ou aulas (KERÄNEN, 2009).

**Grupo de Nós:** Os atributos em comum dos grupos podem ser configurados globalmente e cada grupo pode ter seus próprios atributos, alguns deles são: quantidade de nós, alcance de comunicação, capacidade de armazenamento persistente, modelo de mobilidade, velocidade, pontos de interesse no mapa, roteamento de mensagens.

**Eventos:** Os eventos na simulação são mensagens criadas pelos geradores de eventos com origem e destino definidos. Seu tamanho, intervalo de criação, e os nós que podem

enviar e receber podem ser configurados pelo usuário. As mensagens são sempre *unicast*, tendo uma única origem e destino.

**Modelos de Movimentação:** O movimento dos nós é implementado por meio de modelos de mobilidade. Estes ou são modelos puramente sintéticos ou baseado em *traces*.

**Protocolos de Roteamento:** A função de roteamento é decidir quais mensagens serão transmitidas aos contatos. No ONE, por padrão, já estão implementados quatorze protocolos, como, o Epidêmico, Spray and Wait, Primeiro Contato, MaxProp e PROPHET.

**Relatório:** Eles proveem estatísticas fundamentais para a análise dos cenários simulados. Os resultados gerados são registros de eventos processados pelas ferramentas de pós-processamento externos, ou seja, estatísticas reunidas e calculadas, sendo os principais:

- **Mensagens criadas:** número de mensagens que foram geradas no intervalo de simulação;
- **Mensagens entregues:** número de mensagens enviadas que chegaram aos seus destinatários;
- **Tempo de vida da mensagem:** tempo médio de vida de uma mensagem nos casos onde se determinar um tempo vida para as mensagens;
- **Tempo de atraso na entrega:** tempo médio desde a criação da mensagem até sua entrega ao destino;
- **Overhead (número de cópias das mensagens):** avaliação da eficiência de largura de banda, que é calculada pela seguinte fórmula:  $(r - d)/d$ , onde  $r$  é o mensagens retransmitidas e  $d$  é o quantidade de mensagens entregues;
- **Entregas redundantes:** refere-se ao caso de várias cópias de uma mensagem na rede que foram entregues ao seu destino.

Essencialmente, a estrutura de funcionamento do ONE, se baseia no fluxo dos dados, é representada abaixo.

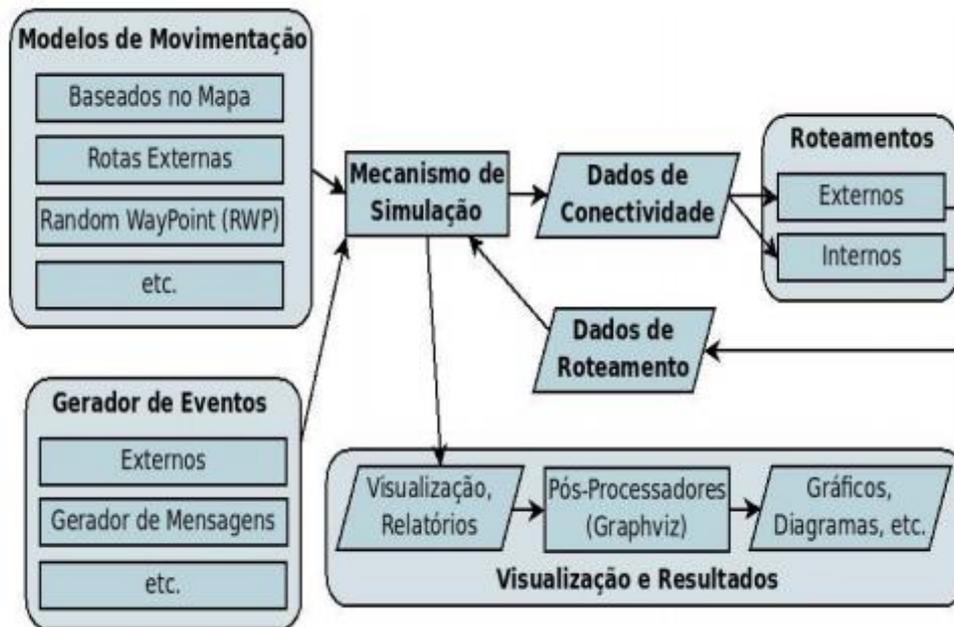


Figura 3.2 – Funcionamento do ONE (KERÄNEN, 2009).

### 3.3 Cenário de Simulação e Parametrização

No campus universitário da UFS de Itabaiana, os cursos são oferecidos em três turnos, cada turno possui 6 horas, assim, o tempo de simulação escolhido foi 6 horas. Cada algoritmo será simulado no mesmo cenário com três quantidades diferentes de nós, 200, 400 e 800 nós. Essas quantidades de nós representam na prática o percentual de pessoas que estão de posse de algum dispositivo que sejam capazes de se conectarem entre eles durante o turno supracitado.

Para tornar a simulação o mais próximo da realidade, os parâmetros de simulação foram definidos conforme as especificações de dispositivos móveis, com a tecnologia *bluetooth*, que é uma tecnologia de troca de dados ponto-a-ponto muito comum em celulares e *smarthphones* dos estudantes no campus.

Parâmetros de Simulação	
Tempo de simulação	6 h
Modelo de Movimentação	SPMBM
Tamanho do <i>buffer</i>	30 MB
Velocidade de deslocamento	1 – 3 km/h
Mensagens criadas	960
Velocidade de transmissão	1,375 MB/s
Tamanho das mensagens	100k – 1 MB

Tabela 3.0: Parâmetros de Globais do simulador

No cenário pôde ser observado que o padrão de movimentação dos nós pode ser dividido em 7 grupos, são eles:

- **Aluno do Bloco A:** São nós que tem sua movimentação concentrada nas salas e laboratórios do Bloco A, e ocasionalmente visitam a biblioteca e a vivência. Quando os nós desses grupos se deslocarem até seus destinos, normalmente, ficam parados de dez minutos a uma hora parados até escolher outro destino no mapa.
- **Aluno do Bloco B:** A movimentação destes nós está concentrada nas salas do Bloco B, e de vez em quando vão até a biblioteca e a vivência. Quando os nós desses grupos se deslocarem até seus destinos, normalmente, ficam parados de dez minutos a uma hora parados até escolher outro destino no mapa.
- **Aluno do Bloco C:** Esses nós têm como principal destino as salas do Bloco C, e às vezes visitam a biblioteca e a vivência. Quando os nós desses grupos se deslocarem até seus destinos, normalmente ficam parados de dez minutos a uma hora parados até escolher outro destino no mapa.
- **Aluno do Bloco D:** São nós que possuem sua movimentação concentrada nas salas do Bloco D, e ocasionalmente visitam a biblioteca e a vivência. Quando os nós desses grupos se deslocarem até seus destinos, normalmente, ficam parados de dez minutos a uma hora parados até escolher outro destino no mapa.
- **Professor:** A movimentação destes nós está concentrada nos departamentos e salas aulas de todos os blocos. Quando os nós desses grupos se deslocarem até

seus destinos, normalmente, ficam parados de dez minutos a uma hora parados até escolher outro destino no mapa.

- **Vigia:** São nós que possuem a sua movimentação concentrada nas guaritas e fazem caminhar pelo campus escolhem pontos aleatório como destino.
- **Limpeza:** São funcionários que não possuem pontos de interesse, podendo ir para qualquer ponto do mapa a qualquer momento. Quando os nós desses grupos se deslocarem até seus destinos, normalmente ficam parados de trinta segundos a dez minutos no mesmo local até escolher outro destino no mapa.



Figura 3.3 - O Campus Universitário Prof. Alberto Carvalho

Para representar melhor esses pontos de interesses dos nós e tornar a simulação o mais próximo da realidade, foram definidos os seguintes POIs no mapa: Bloco A, Bloco B, Bloco C, Bloco D, Biblioteca, Guarita, Vivencia, Biblioteca. Como mostrado na figura abaixo.

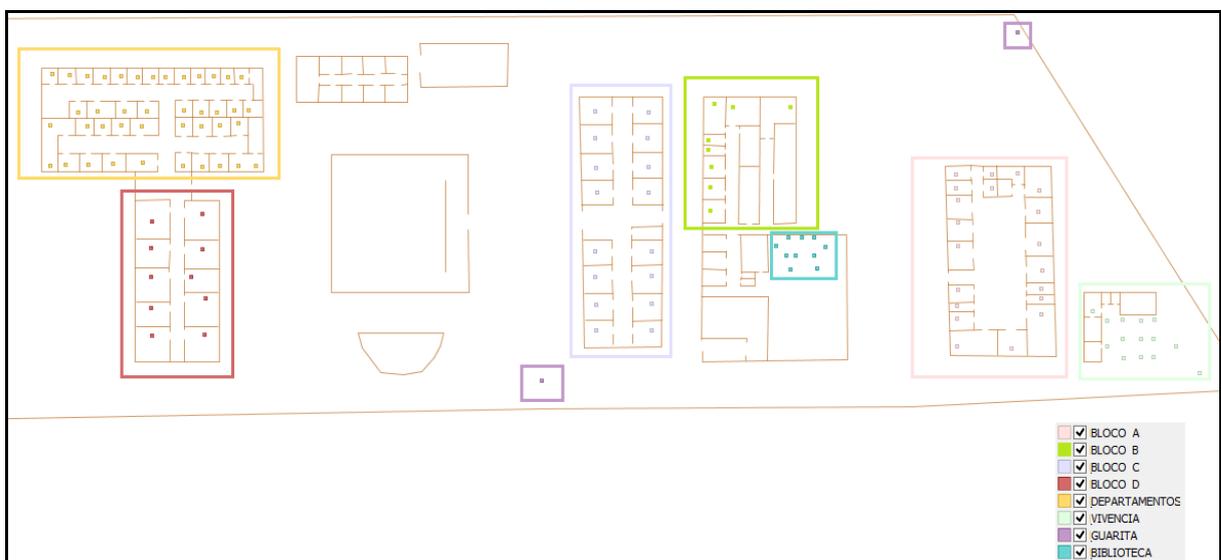


Figura 3.4 - Pontos de interesse criados para simulação

Com exceção do grupo que representa os funcionários da limpeza que não possui nenhum ponto de interesse, para os demais grupos foram definidas as probabilidades dos nós frequentarem cada POI. As probabilidades foram configuradas como segue na tabela abaixo.

<b>Pois/Grupos</b>	<b>Aluno Bloco A</b>	<b>Aluno Bloco B</b>	<b>Aluno Bloco C</b>	<b>Aluno Bloco D</b>	<b>Professor</b>	<b>Vigia</b>
<b>Bloco A</b>	80%	-	-	-	10%	-
<b>Bloco B</b>	-	80%	-	-	10%	-
<b>Bloco C</b>	-	-	80%	-	10%	-
<b>Bloco D</b>	-	-	-	80%	10%	-
<b>Departamentos</b>	-	-	-	-	60%	-
<b>Guarita</b>	-	-	-	-	-	50%
<b>Biblioteca</b>	10%	10%	10%	10%	-	-
<b>Vivência</b>	10%	10%	10%	10%	-	-

Tabela 3.1 - Tabela das probabilidades dos grupos irem aos pontos de interesse

As quantidades de nós de cada grupo para as rodadas com 200, 400 e 800, foi dividida da seguinte maneira:

<b>Grupo/Rodada</b>	<b>200 nós</b>	<b>400 nós</b>	<b>800 nós</b>
<b>Aluno Bloco A</b>	10	20	40
<b>Aluno Bloco B</b>	25	50	100
<b>Aluno Bloco C</b>	50	100	200
<b>Aluno Bloco D</b>	100	200	400
<b>Professor</b>	10	20	40
<b>Vigia</b>	3	6	12
<b>Limpeza</b>	2	4	8

Tabela 3.1 - Tabela com a quantidade de nós de cada grupo para a

Como cada algoritmo possui características distintas, o PROPHET particularmente possui diferentes parâmetros. No protocolo PROPHET, a probabilidade a priori inicial de repassar uma mensagem (parâmetro b) foi configurada com o valor 0,75, a taxa de

aumento/decréscimo de  $b$  em função de encontros/desencontros com 0,25 e a constante de envelhecimento com 0,98. Estes parâmetros do roteamento P<sub>Ro</sub>PHET são os valores padrão fornecidos pelo simulador.

Após a definição das métricas de simulação, as simulações puderam ser iniciadas.

### 3.4 Os Resultados

Depois das simulações executadas, os dados foram coletados e gerados os gráficos e tabelas de taxa de entrega, overhead, latência e variação do buffer.

A Tabela 3.2 e a figura 3.5, apresentam os valores médios dos overheads das simulações dos algoritmos separados pela quantidade de nós. Onde fica claro que o Epidêmico e o P<sub>Ro</sub>PHET utiliza muito mais recursos da rede em comparação com Primeiro Contato.

	<b>Epidêmico</b>	<b>P<sub>Ro</sub>PHET</b>	<b>Primeiro Contato</b>
<b>200 nós</b>	2943,6879	2785,7160	89,3695
<b>400 nós</b>	6348,7610	5968,4219	181,4909
<b>800 nós</b>	14215,6596	13434,2035	327,5174

Tabela 3.2: Overhead

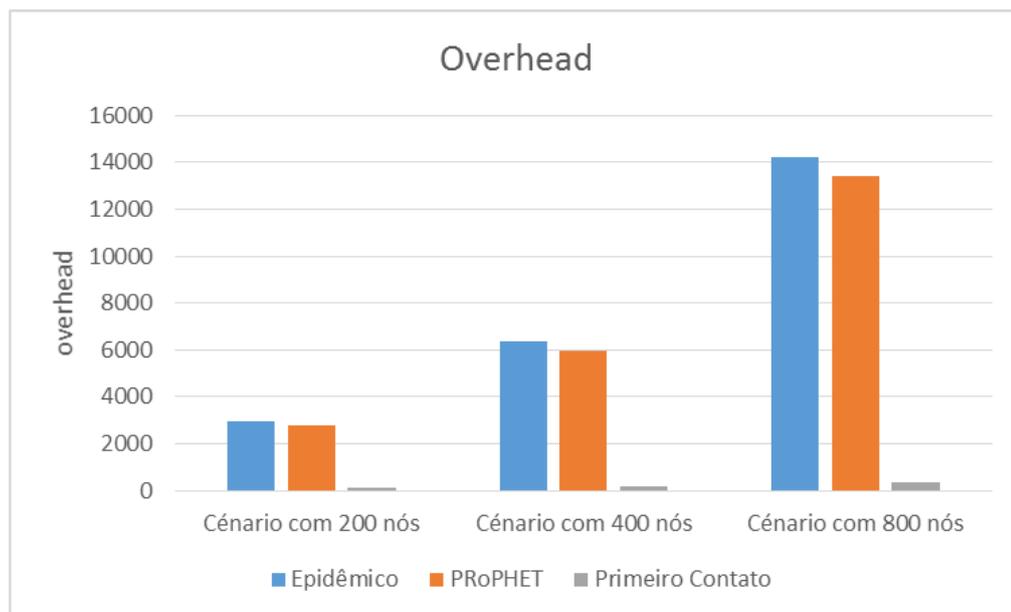


Figura 3.5 - Gráfico de Overhead dos algoritmos para o cenário com diferentes quantidades de nós

Protocolo	Epidêmico	PRoPHET	Primeiro Contato
200 nós	853146	797127	12
400 nós	1804226	1567046	4
800 nós	3567514	3256060	0

Tabela 3.3: Número de mensagens descartadas pelos nós

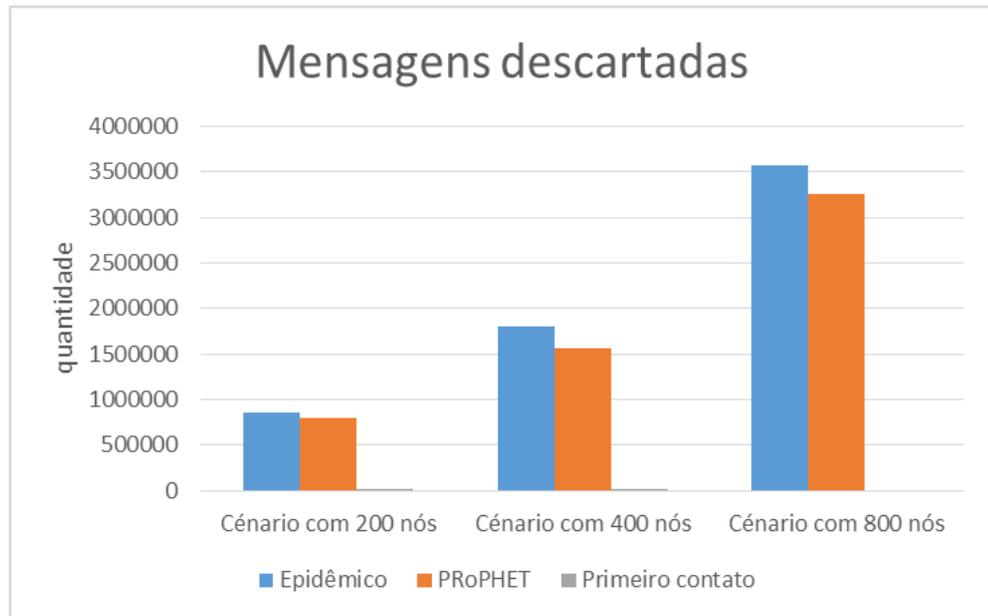


Figura 3.6 - Gráfico da quantidade de mensagens descartadas pelos dos algoritmos para o cenário com quantidades de nós diferentes

Como pode ser analisado na tabela 3.4 a probabilidade de entrega do Epidêmico e PRoPHET tiveram um desempenho bem parecido, mas bem abaixo do Primeiro Contato. O alto número de mensagens descartadas, mostrado na tabela 3.3, é resultado do alto número de cópia das mensagens na rede, que faz o *buffer* de mensagens dos nós encher e mais mensagens serem descartadas, contribuindo para a baixa probabilidade de entrega dos algoritmos Epidêmico e PRoPHET.

Protocolo	Epidêmico	PRoPHET	Primeiro Contato
200 nós	45,83%	45,97%	81,94%
400 nós	44,17%	41,81%	76,67%
800 nós	39,17%	39,58%	75,68%

Tabela 3.4: Probabilidade de entrega

Pelas figuras 3.7, 3.8 e 3.9 que mostram os gráficos de comportamento das probabilidades de entrega dos os algoritmos no decorrer das simulações separados pela quantidade de nós, fica claro o alto desempenho do Epidêmico e PRoPHET no início da simulação, quando há poucas mensagens na rede. Porém tende a cair a medida que o número de mensagens aumenta. Também pode ser notado que todos algoritmos de roteamento apresentaram queda de desempenho quando as simulações foram feitas com mais nós na rede.

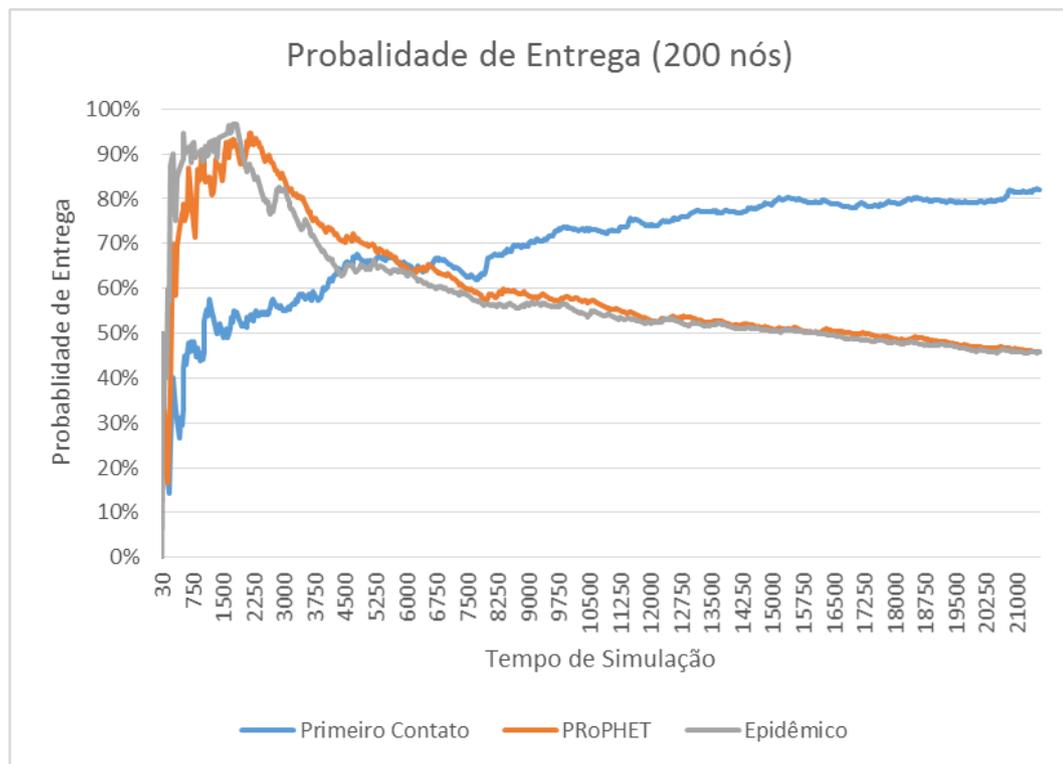


Figura 3.7 - Gráfico da probabilidade de entrega com 200 nós

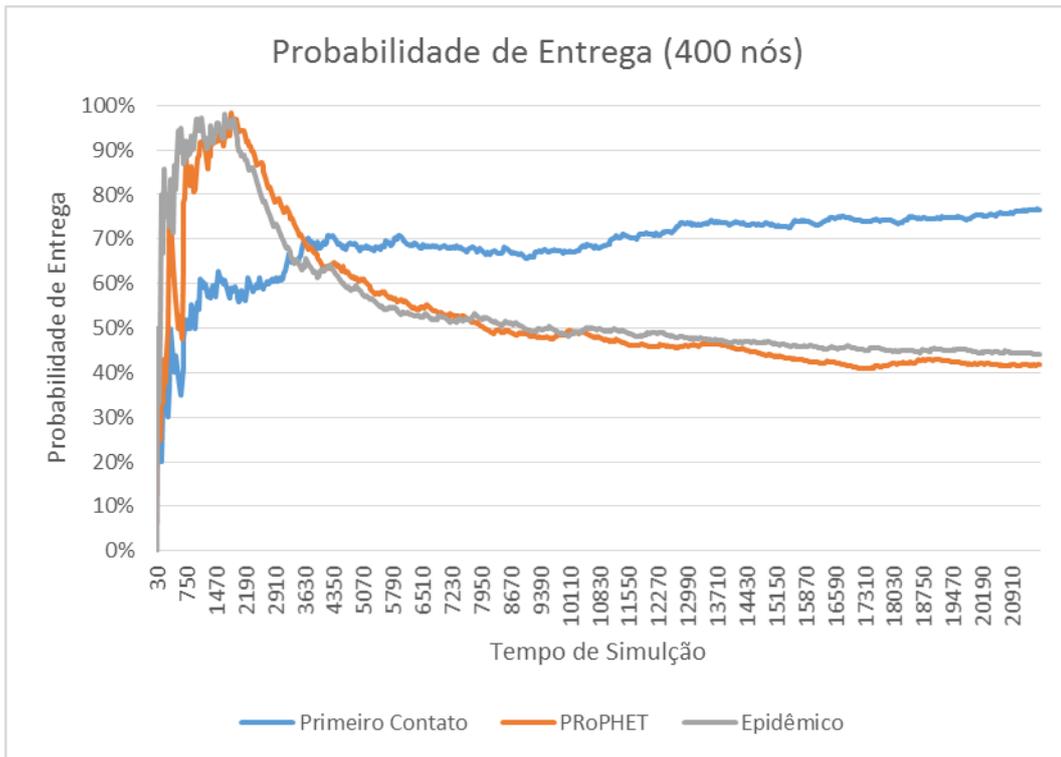


Figura 3.8 - Gráfico da probabilidade de entrega com 400 nós

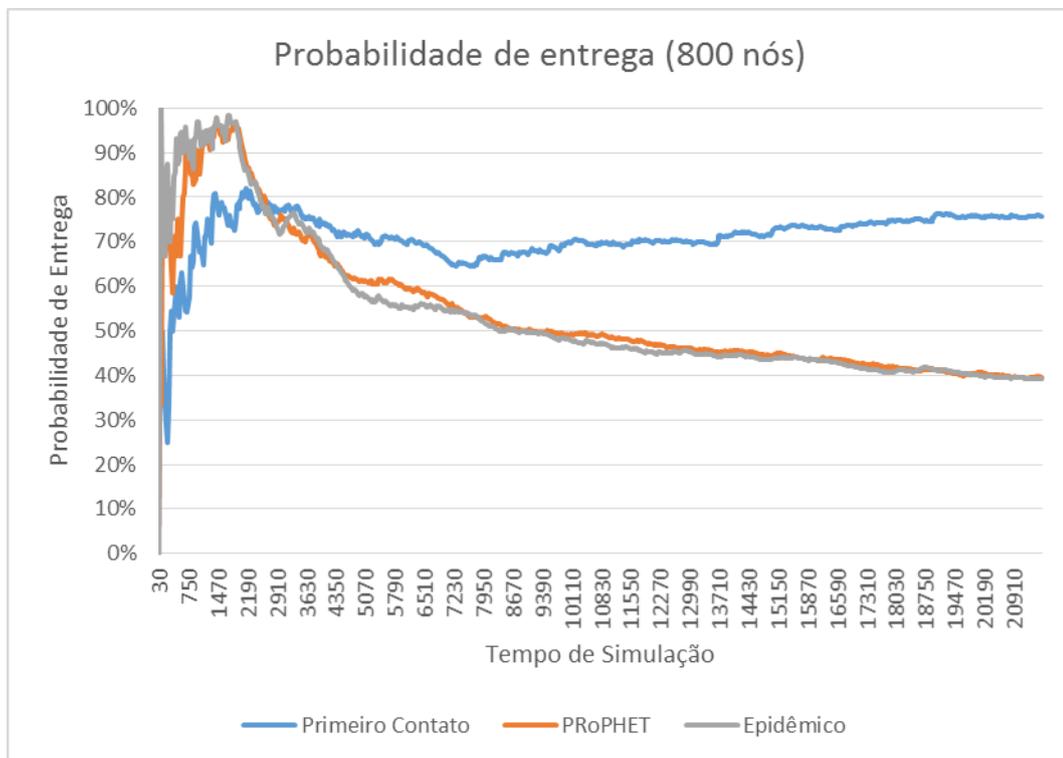


Figura 3.9 - Gráfico da probabilidade de entrega com 800 nós

As médias dos resultados das latências das simulações, por quantidade de nós, podem ser vistas na tabela 3.5 e na figura 3.10.

	<b>Epidêmico</b>	<b>PRoPHET</b>	<b>Primeiro Contato</b>
<b>200 nós</b>	797,1794 s	719,8341 s	1571,0714 s
<b>400 nós</b>	865,0635 s	979,8113 s	1452,9002 s
<b>800 nós</b>	1073,3681 s	714,0709 s	1519,9563 s

Tabela 3.5 - Latência média

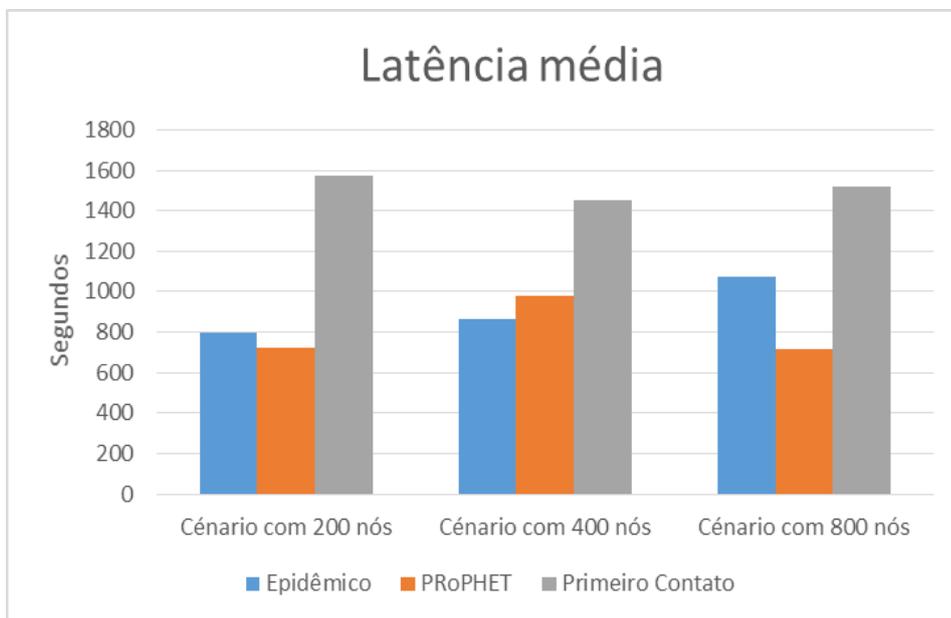


Figura 3.10 - Gráfico da latência média

Como pode ser observado na tabela 3.10, o protocolo de Protocolo de roteamento Primeiro Contato obteve uma latência quase duas vezes maior que o Epidêmico e o PRoPHET, isso se dá pela quantidade de cópias de mensagens que os protocolos geram na rede, como o Primeiro contato só mantém uma cópia, as mensagens tendem a demorar mais tempo para chegar aos seus destinos.

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise do desempenho dos protocolos de roteamento DTN em um cenário universitário. Foi realizado um estudo do desempenho avaliando através de métricas de entrega, atraso, overhead e descarte de mensagens. O simulador utilizado foi o ONE, que propicia um nível alto de realismo às simulações.

As performances dos protocolos DTN Epidêmico, PRoPHET e Primeiro Contato foram avaliadas, no mesmo cenário variando a quantidade nós. Observamos que o desempenho do protocolo Primeiro Contato foi superior aos demais com uma probabilidade maior de entrega de mensagens, menor *overhead*, e pequena quantidade de descarte de mensagens, entretanto teve uma alta latência na entrega das mensagens, ou seja, as mensagens demoram mais para chegar os seus destinos. De forma geral pode ser confirmado que os protocolos Epidêmico, PRoPHET entregam significativamente menos mensagens neste cenário, em que há alta densidade de nós concentrada em diferentes regiões do mapa e não há tanta mobilidade, e devido a criação de muitas cópias que lotam os buffer e fazem com muitas mensagens sejam descartadas. Assim foi concluído que o algoritmo de Primeiro Contato é o mais indicado para esse cenário.

Este trabalho cria várias oportunidades de trabalhos futuros.

A primeira delas é a melhoria do trabalho em questão. Poderiam ser analisados outros protocolos DTN, que utilizem outras estratégias do roteamento que possam melhorar a taxa de entrega e diminuir a latência da entrega das mensagens controlando melhor o número de mensagens na rede. Esse cenário pode ser utilizado para avaliação de novos protocolos de roteamento.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. D. D. **Análise de desempenho de protocolos de roteamento Ad hoc e DTN em redes de emergência**, Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, 2011.
- BETTSTETTER, C. **Smooth is better than sharp: A random mobility model for simulation of wireless networks**. Proceeding. ACM Intern. MSWiM, 2001.
- BOUDGUIG, M.; ABDALI, A. **New DTN Routing Algorithm**. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, 2013.
- CERF, V.; BURLEIGH, S.; HOOKE, A.; TORGERSON, L.; DURST, R.; SCOTT, K.; FALL, K.; EWEISS, H. **Delay-Tolerant Networking Architecture**. RFC 4838, DTN Research Group, 2007. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc4838.txt>>. [Acessado em outubro de 2014].
- HARIS, A. **A DTN Study: Analysis of Implementations and Tools**, Technical University of Denmark, Dinamarca, 2010. Disponível em: <[http://etd.dtu.dk/thesis/266537/ep10\\_65\\_net.pdf](http://etd.dtu.dk/thesis/266537/ep10_65_net.pdf)> [Acessado em fevereiro de 2015].
- CERF, V.; BURLEIGH, S.; HOOKE, A.; TORGERSON, L.; DURST, R.; SCOTT, K.; FALL, K.; WEISS, H. **Delay-Tolerant Network Architecture: The Evolving Interplanetary Internet**, 2002. <<https://tools.ietf.org/html/draft-irtf-ipnrg-arch-01>>. [Acessado em janeiro de 2015].
- CAMPOS, C. A. V.; SILVA, A. M.; OTERO, D. C.; ALBUQUERQUE, L. R.; MORAES, L. F. M. **Mobilidade em Redes Sem Fio Ad hoc, in Minicurso do V Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel**. WCSF2003: São Lourenço, Brasil, 2003.
- CORREIA, L. H. A.; MACEDO, D. F.; RIBEIRO, M. A. S.; HEIMFARTH T. **AntRoP - Protocolo de Roteamento Bio-inspirado em Colônia de Formiga Tolerante a Falhas e Desconexões aplicado às Redes Emergenciais**. Disponível em: <[http://sbrc2011.facom.ufms.br/files/workshops/wgrs/ST04\\_4.pdf](http://sbrc2011.facom.ufms.br/files/workshops/wgrs/ST04_4.pdf)> [Acesso em agosto 2014].
- COUTINHO, G. L., **Delay Tolerant Networks (DTN)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/grad/06\\_2/gustavo/arquitetura.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/06_2/gustavo/arquitetura.htm)> [Acesso em agosto 2014].
- DEMMER, M.; BREWER, E.; FALL, K.; JAIN, S.; HO, M; PATRA, R. **Implementing Delay Tolerant Networking**, 2004.
- DUARTE, G. L., **Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões**, Instituto de Matemática e Estatística de São Paulo, 2008. Disponível em:

<<http://grenoble.ime.usp.br/~gold/cursos/2008/movel/monoSemCorrecao/GustavoDuarte.pdf>> [Acesso em agosto 2014]

FALL, A. K. **Delay-tolerant Network Architecture for Challenged Internets**, 2003.

FARRELL, S.; C AHILL, V.; G ERAGHTY, D.; H UMPHREYS, I.; E MCDONALD, P. **When TCP Breaks: Delay and Disruption Tolerant Networking**. IEEE: 2006.

FERNANDES, R. M. S. **Proposta De Um Mecanismo De Segurança Baseado Em Troca De Chaves Assimétricas Para Redes Tolerantes A Atrasos E Desconexões**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil, Março 2009.

HARGREAVES, E. M. **Um novo modelo de mobilidade para redes sem fio: distribuições exatas para velocidade e direção com aplicações em simulações perfeitas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COOPE – Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tese\\_eduardo.pdf](http://www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tese_eduardo.pdf)> [Acesso em agosto 2014].

HUI, P. **People Are The Network: Experimental Design And Evaluation Of Social-Based Forwarding Algorithms**. University of Cambridge - Cambridge, 2008.

JAIN, S.; FALL, K.; PATRA, R. **Routing in a Delay Tolerant Network**. Em ACM SIGCOMM (2004), ACM Press, pág. 145–158

JOB, D. H.; SALLES, R. M. **Arquitetura para a Camada de Agregação em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões**. Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2009.

KERÄNEN, A.; OTT, J.; KÄRKKÄINEN, T. **The ONE simulator for DTN protocol evaluation**. 2009. Disponível em: <<http://www.netlab.tkk.fi/~jo/papers/2009-03-simutools-one.pdf>> [Acesso em agosto 2014].

KERÄNEN, A.; OTT, J.; KÄRKKÄINEN, T., **The ONE - The Opportunistic Network Environment Simulator**. Disponível em: <<http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>> [Acesso em agosto de 2014].

KURKOWSKI, S.; CAMP, T.; COLAGROSSO, M. **Manet Simulation Studies: The Incredibles**. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Golden, Colorado, Estados Unidos, 2005. Disponível em: <<https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci742s2c/resources/p50-kurkowski.pdf>> [Acesso em agosto 2014].

LINDGREN, A.; DORIA, A.; SCHELN, O. **Probabilistic routing in Intermittently connected networks**. 2003. Disponível em: <[psg.com/~avri/papers/icr\\_lindgren.pdf](http://psg.com/~avri/papers/icr_lindgren.pdf)> [Acesso em agosto 2014].

- MAMOUN, M. H.; **New Adaptive Routing Proposal for DTN**. International Journal of Computer Applications. Volume 82 – No.9, 2013
- MELO, M. C. L. **Proposta e Avaliação da Utilização do Tráfego Aeroviário Nacional como Uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
- MOSCHETTO, D. A.; FREITAS, D. O.; POMA, L. P. P.; ALMEIDA, R. A. P.; GUARDIA, H. C.; MARCONDES, C. A. C. **Influência da topologia da área de movimentação na capacidade de transmissão de redes DTN de pessoas**. XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2012.
- OBRACZKA, K. **Curso sobre Disruption-Tolerant Networks**, COOPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.
- OLIVEIRA, C. T.; MOREIRA, M. D. D.; RUBINSTEIN, M. G.; COSTA, L. H. M. K.; DUARTE, O. C. M. B. **Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões**, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2007.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. A.; LIMA JUNIOR, L. A. P.; ANDRADE, G. E. ; MICHELLON, G. A. **Anycasting in DTNs using Virtual Magnetic Fields**. The 11th Annual IEEE Consumer Communications & Networking Conference, Las Vegas, 2014. pp. 909.
- OPENJUMP. OpenJUMP - **The free, Java based and open source Geographic Information System for the World**, <<http://openjump.org>> [Acesso em dezembro de 2014].
- OZKASAP, O.; ATSAN, E. **A classification and performance comparison of mobility models for ad hoc networks**. *Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks*. Springer Berlin Heidelberg: Ottawa, Canada, 2006.
- PAULA, W. P.; OLIVEIRA, S.; NOGUEIRA, J. M. **Um Mecanismo de Reputação para Redes Veiculares Tolerantes a Atrasos de Desconexões**. SBRC 2010, Gramado, 2009.
- RIBEIRO, M. A. S. **Algoritmo De Roteamento Bio-Inspirado Aplicado As Redes Emergenciais**. Universidade Federal de Lavras – Lavras, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/OIDu07.pdf>> [Acesso em agosto de 2014].
- ROCHA, G. A. M. **Roteamento em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões Previsíveis com Restrições de Buffer e Largura de Banda**. Universidade Federal Fluminense – Niterói, 2009.
- ROLIM, C. O.; LEITHARDT, V. R. Q.; ROSSETTO, A. G.; DOS SANTOS, T.F. M.; SOUZA, A. M.; GEYER, C. F. R. **Six Degrees of Separation to Improve Routing in**

- Opportunistic Networks.** International Journal of UbiComp, Vol. 4, No. 3. 2013  
<<http://airccse.org/journal/iju/papers/4313iju02.pdf>> [Acesso em outubro de 2014].
- SCOTT, K., E BURLEIGH, S. **Bundle Protocol Specification.** RFC 5050, DTN. Research Group, 2007. Disponível em <<http://www.ietf.org/rfc/rfc5050.txt>> [Acesso em outubro de 2014].
- SILVA FILHO, A. M. **Conectividade: Prós e Contras da Vida Digital.** Revista Espaço Acadêmico. Edição: 114, Pernambuco, 2010. Disponível em <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/viewFile/11608/6244>> [Acesso em outubro de 2014].
- SIMÕES, D. V. **Delay and Disruption Tolerant Networks – DTNs,** Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2008.
- SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. **Spray and wait: Efficient routing in intermittently connected mobile networks.** Proceedings of ACM SIGCOMM workshop on Delay Tolerant Networking (WDTN), 2005
- SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. **Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case.** IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(1):77–90.
- VAHDAT, A.; BECKER, D. **Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks.** 2000. Disponível em <[issg.cs.duke.edu/epidemic/epidemic.pdf](http://issg.cs.duke.edu/epidemic/epidemic.pdf)> [Acesso em agosto de 2014].
- VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- VIEIRA, A. S. S. **VDTN-TD: Protocolo de roteamento VANET/DTN baseado em tendência de entrega.** Universidade Federal do Ceará – Fortaleza, 2012.
- ZHANG, Z. **Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges.** Communications Surveys & Tutorials, 2006.